



Disertasi-RA143501

# **Model Pembayangan dan Lansekap Ruang Kota Dalam Sistem Lingkungan Termal Perkotaan Di Daerah Tropis Lembab**

FETTY FEBRIASTI BAHAR  
3210.301.005

DOSEN PEMBIMBING

Dr. Eng. Ir. Dipl. Ing. Sri Nastiti N.Ekasiwi, M.T.

Prof. Ir. Happy Ratna Santosa, M.Sc., Ph.D.

Ir. I Gusti Ngurah Antaryama, Ph.D.

PROGRAM DOKTOR

BIDANG KEAHLIAN ARSITEKTUR LINGKUNGAN

JURUSAN ARSITEKTUR

FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN

INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOVEMBER

SURABAYA

2017



## LEMBAR PENGESAHAN

Disertasi disusun untuk memenuhi salah satu syarat memperoleh gelar  
**Doktor (Dr)**

di  
**Institut Teknologi Sepuluh November**

Oleh  
**FETTY FEBRIASTI BAHAR**  
NRP. 3210 301 005

Tanggal Ujian : 22 Desember 2016  
Periode Wisuda : 115

Disetujui Oleh:

Dr-Eng.Ir.Dipl-Ing. Sri Nastiti NE, MT.  
Nip. 19611129 198601 2 001

Prof. Ir. Happy Ratna S, M.Sc., Ph.D.  
Nip. 19460202 197602 2 001

Ir. I Gusti Ngurah Antaryama, Ph.D.  
Nip. 19680425 199210 1 001

Ir. Muhammad Faqih, MSA, Ph.D.  
Nip. 19530603 198003 1 003

Dr. Ing. Ir. Haryo Sulistyarso.  
Nip. 19550428 198303 1 001

Dr. Ir. Arif Kusumawanto, MT, IAI.  
Nip. 19610226 198803 1 001

.....  
(Pembimbing 1)

.....  
(Pembimbing 2)

.....  
(Pembimbing 3)

.....  
(Penguji)

.....  
(Penguji)

.....  
(Penguji)

**an. Direktur Program Pascasarjana**  
**Asisten Direktur**

**Prof. Dr. Ir. Tri Widjaja, M.Eng.**  
NIP. 19611021 198603 1 001

Direktur Program Pasca Sarjana

**Prof. Ir. Djauhar Manfaat, M.Sc., Ph.D.**  
NIP. 19601202 198701 1 001

## **PERNYATAAN**

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : **FETTY FEBRIASTI BAHAR**

Program Studi : **Arsitektur**

NRP : **3210301006**

Dengan ini menyatakan bahwa ini sebagian maupun keseluruhan disertasi saya dengan judul :

**MODEL PEMBAYANGAN DAN LANSEKAP RUANG KOTA DALAM SISTEM LINGKUNGAN TERMAL PERKOTAAN DI DAERAH TROPIS LEMBAB**

Adalah benar-benar karya intelektual mandiri, diselesaikan tanpa menggunakan bahan-bahan yang tidak diijinkan dan bukan karya pihak lain yang saya akui sebagai karya sendiri.

Semua referensi yang dikutip maupun dirujuk, telah ditulis secara lengkap sumbernya dan tertera pada daftar pustaka.

Apabila pernyataan ini tidak benar, saya bersedia menerima sanksi sesuai peraturan yang berlaku.

Surabaya, Januari 2017  
Pembuat Pernyataan

Fetty Febriasti Bahar  
NRP. 3210301005





## KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadiran Allah SWT, karena berkat rahmat, hidayah dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan Disertasi dengan judul : **Model Pembayangan dan Lansekap Ruang Kota Dalam Sistem Lingkungan Termal Perkotaan Di Daerah Tropis Lembab**, sebagai persyaratan studi strata tiga (S-3) pada program Doktor Pascasarjana jurusan Arsitektur Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS) Surabaya.

Dengan selesainya penyusunan Disertasi ini, perkenankanlah penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada semua pihak yang telah membantu penyelesaian disertasi ini, khususnya kepada:

1. Ibu Prof. Ir. Happy Ratna Santosa, M.Sc., Ph.D., Bapak Ir. I Gusti Ngurah Antaryama, Ph.D, dan Ibu Dr. Eng. Ir. Dipl-Ing. Sri Nastiti N. Ekasiwi, MT., selaku pembimbing yang selalu memberikan waktu, pikiran, koreksi, motivasi, arahan dan kesempatan selama penyelesaian disertasi ini.
2. Bapak Ir. Muhammad Faqih, MSA, Ph.D., Bapak Dr. Ing. Ir. Haryo Sulistyarso., dan Bapak Dr. Ir. Arif Kusumawanto, MT, IAI., selaku tim penguji yang telah memberi masukan, saran, kritik dan koreksi yang sangat berarti dalam penyelesaian disertasi ini.
3. Ibu Dr. Ima Defiana, S.T., M.T., selaku koordinator Prodi Pascasarjana Arsitektur ITS, Bapak Ir. I Gusti Ngurah Antaryama, Ph.D, selaku Ketua Jurusan Arsitektur ITS dan Ibu Ir. Purwanita Setijanti, MSc, Ph.D, selaku Dekan FTSP ITS, serta segenap dosen dan karyawan jurusan Arsitektur ITS yang telah memberikan bantuan dan kemudahan selama studi.
4. Bapak Dr. Muhammad Mashuri, M.T., Ibu Noviyanti Santoso, S.Si., M.Si., dan Ibu Iis Dewi Ratih, S.Si., M.Si., yang telah membantu proses analisa data statistik untuk penyelesaian disertasi ini.
5. Segenap para pengelola tempat survei yang telah mengizinkan untuk melakukan pengukuran lapangan dan teman-teman surveyor Budi dan Musanna dkk yang telah membantu perolehan data lapangan untuk keperluan penelitian disertasi ini.

6. Teman-teman dan alumni program Doktor Arsitektur ITS yang tergabung dalam “lesehan” yang selama ini banyak membantu, memberi motivasi, kerjasama dan rasa persaudaraan yang dalam. Khususnya Ibu Dr. Arina Hayati, S.T., M.T., yang telah meluangkan waktu untuk diskusi dan Ibu Andarita Loralisasi S.T., M.T., atas perhatian yang sangat mendalam.
7. Teman-teman dan alumni program pascasarjana S2 bidang Arsitektur Lingkungan atas dukungan dalam suka dan duka.

Buku disertasi ini saya dedikasikan untuk kedua orang tua tercinta, dengan ucapan terima kasih yang tulus dan mendalam kepada, Ayahanda Drs. H. Aswandi Bahar, M.Lib., dan Ibunda Dra. Titi Maemunaty, M.Si yang telah mendidik secara tulus ikhlas. Kepada Ayahanda mertua Ir. H. Haviz Husaini, MM dan Ibunda mertua Prof. Ir. Hj. Anis Tatik Mariani, MP., serta kepada Kakanda-kakanda (Eska Juli Martha Bahar, S.Psi., M.Psi) dan Adinda-adinda tercinta (M. Triyono Pratama Bahar), terima kasih atas kasih sayang, bantuan dan doanya selama ini. Terkhusus orang yang terkasih dan selalu menyayangiku sepenuh hati Suamiku tercinta Ahmad Aribowo, S.H., M.H., dan Anandaku tersayang Gladys Atqiya Karima dan adik bayi di dalam kandungan yang selalu menemani sampai disertasi ini selesai, terima kasih atas pengorbanan, keikhlasan, kesabaran, motivasi dan doa yang diberikan selama ini.

Penulis menyadari bahwa disertasi ini masih memerlukan penyempurnaan, namun penulis berharap semoga disertasi ini memberikan manfaat bagi para praktisi pendidikan dan perkembangan ilmu pengetahuan khususnya dalam bidang ilmu arsitektur, khususnya arsitektur lingkungan, serta dapat dijadikan sebagai rujukan bagi para peneliti dan pengambil kebijakan.

Surabaya, Januari 2016  
Penulis,

**Fetty Febriasti Bahar**

# **MODEL PEMBAYANGAN DAN LANSEKAP RUANG KOTA DALAM SISTEM LINGKUNGAN TERMAL PERKOTAAN DI DAERAH TROPIS LEMBAB**

Nama : Fetty Febriasti Bahar  
NRP : 3210 301 005  
Pembimbing : Dr.Eng. Ir.Dipl-Ing. Sri Nastiti N. Ekasiwi., MT.  
Prof. Ir. Happy Ratna S., M.Sc., Ph.D  
Ir. I Gusti Ngurah Antaryama, Ph.D

## **ABSTRAK**

Bangunan dapat memberikan peran yang berbeda dalam suatu lingkungan perkotaan. Bangunan sebagai penyerap dan pemantul panas dapat meningkatkan temperatur udara dan sebagai pembentuk pembayangan dapat menurunkan temperatur udara. Namun, kedua peran ini sejauh mana berpengaruh terhadap lingkungan termal perkotaan, perlu dikaji melalui model komposisi dan konfigurasi lansekap ruang kota serta pembayangan sehingga terciptanya kondisi kenyamanan termal ruang luar. Keberadaan suatu lansekap ruang kota diharapkan dapat mengontrol elemen iklim, sehingga dapat mempengaruhi kondisi lingkungan termal perkotaan. Dimana daerah tropis lembab memiliki karakteristik temperatur udara, kelembaban udara dan intensitas radiasi matahari yang tinggi, serta kecilnya kecepatan angin. Fokus penelitian ini adalah mengkaji seberapa besar pengaruh komposisi dan konfigurasi lansekap ruang kota dan pembayangan yang dihasilkan oleh komposisi dan konfigurasi lansekap ruang kota terhadap sistem lingkungan termal perkotaan di daerah tropis lembab.

Penelitian ini menggunakan paradigma postpositivistik dengan menggunakan tiga kombinasi metode penelitian, yaitu metode penelitian pengukuran lapangan, simulasi dan eksperimen. Hasil dari ketiga metode tersebut, kemudian dianalisa secara statistik korelasi untuk mengetahui seberapa besar pengaruh hubungan dari lansekap ruang kota dan pembayangan terhadap sistem termal perkotaan di daerah iklim tropis lembab, sehingga didapatkan model sistem lingkungan termal perkotaan.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa: 1) Konsep LZC (*Local Climate Zone*) cocok diterapkan di daerah tropis lembab untuk mendesain sebuah perkotaan. 2) Konfigurasi lansekap (orientasi jalan, nilai H/W, penataan penutup lahan) dan pembayangan lebih signifikan mempengaruhi kondisi lingkungan termal dibandingkan komposisi lansekap (proporsi penutup lahan). 3) Lansekap berpengaruh signifikan terhadap kecepatan angin dan kenyamanan termal ruang luar PET. 4) Hasil akhir berupa model skematik sistem lingkungan termal perkotaan, dengan kriteria nilai  $H/W \geq 1$  dan komposisi penutup lahan terdiri dari (PLB+PLA+P) 50% dan Bangunan (B (50%)).

**Kata Kunci** – Komposisi dan konfigurasi lansekap ruang kota, Pembayangan, Sistem lingkungan termal perkotaan, PET (*Physiologically Equivalent Temperature*), Tropis lembab.



**Halaman ini sengaja dikosongkan**

# **MODEL OF SHADING AND URBAN LANDSCAPE IN TROPICAL URBAN THERMAL ENVIRONMENT SYSTEM**

Name : Fetty Febriasti Bahar  
NRP : 3210 301 005  
Promotor : Dr.Eng. Ir.Dipl-Ing. Sri Nastiti N. Ekasiwi., MT.  
Prof. Ir. Happy Ratna S., M.Sc., Ph.D  
Ir. I Gusti Ngurah Antaryama, Ph.D

## **ABSTRACT**

Buildings may respond and give different roles in urban environment. For instant, buildings not only contribute as radiation absorber and heat reflector which increase the air temperature, but also the building can be as shading generator to decrease the air temperature. Therefore, it is important to study the influence of urban landscape composition and configuration model as well as shading model to urban thermal comfort. The urban landscape are expected to control climatic elements, thus affect the urban thermal environment condition especially in the humid tropical climate. The location with humid tropical climate can be described by its high air temperature, air humidity, and solar radiation intensity, but low wind speed. This study is focused on analyzing and investigating how the urban landscape composition and configuration along with the generated shading influence the urban thermal environment system in humid tropical climate.

The study uses a post-positivist research approach with combining three research methods, namely field measurements, simulation, and experiment. All data are analyzed subsequently using correlation statistical analysis to understand the influence and the relationship between urban landscape and shading towards urban thermal system in tropical region, that then the urban thermal environment system model is obtained.

Results showed that 1) LCZ (Local Climate Zone) concept is suitable for urban design in humid tropical region. 2) Landscape configuration (street orientation, H/W ratio, ground cover arrangement) and shading give more significant effects than landscape composition (ground cover proportion) to thermal environment condition. 3) Landscape has important impact towards wind speed and outdoor thermal comfort PET. 4) Finally schematic model of optimization zone of urban thermal environment is proposed, which is “slightly warm” on compact pattern (high H/W ratio): landscape category (PLB+PLA+P (50%)) and Building (B(50%)) with H/W ratio of 2.

**Keyword** – Urban landscape composition and configuration, Shading, Urban thermal environment system, PET (Physiologically Equivalent Temperature), Humid tropic.

**Halaman ini sengaja dikosongkan**

## DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
LEMBAR PENGESAHAN	iii
KATA PENGANTAR	v
ABSTRAK	vii
ABSTRACT	ix
DAFTAR ISI	xi
DAFTAR GAMBAR	xv
DAFTAR TABEL	xxi
DAFTAR SIMBOL DAN ISTILAH	xxv
 BAB 1 PENDAHULUAN	 1
1.1. Latar Belakang	1
1.1.1. Lingkungan Termal Kota	1
1.1.2. Lansekap Kota sebagai Faktor yang Mempengaruhi Kondisi Termal Kota	3
1.1.3. Kondisi Termal dan Lansekap Kota di Surabaya	6
1.2. Perumusan Masalah	10
1.3. Tujuan Penelitian	12
1.4. Manfaat Penelitian	12
1.5. Batasan Penelitian	13
1.6. Orisinalitas dan Kontribusi Penelitian	14
 BAB 2 KAJIAN PUSTAKA	 19
2.1. Lingkungan Termal Perkotaan	19
2.1.1. Skala Iklim	20
2.1.2. Iklim Mikro	24
2.1.3. Elemen Iklim	25
2.1.4. Karakteristik Iklim Tropis Lembab	28
2.2. Model dan Konsep Keseimbangan Lingkungan Termal Perkotaan	29
2.2.1. Model Keseimbangan Lingkungan Termal Perkotaan	30
2.2.2. Konsep Keseimbangan Lingkungan Termal Perkotaan	32
2.3. Konsep Kenyamanan Termal Ruang Luar	39
2.4. Lansekap Perkotaan	46
2.4.1. Kondisi Lansekap Perkotaan	47
2.4.2. Komposisi dan Konfigurasi Lansekap	50
2.5. Konsep Pembayangan	59
2.6. Lansekap Ruang Kota dan Pembayangan sebagai Faktor yang Mempengaruhi Kondisi Lingkungan Termal Perkotaan	63
2.7. Komponen Lainnya: Polusi sebagai Faktor yang Mempengaruhi Kondisi Lingkungan Termal Perkotaan	74
2.8. Dasar Teori	76
 BAB 3 METODE PENELITIAN	 83



3.1. Paradigma dan Metode Penelitian	83
3.2. Variabel Penelitian	86
3.2.1. Jenis Variabel	86
3.2.2. Defenisi Operasional Variabel	86
3.3. Metode Survei Lapangan	88
3.3.1. Lokasi Penelitian	88
3.3.2. Penentuan Objek Penelitian	89
3.3.3. Koleksi Data	98
3.4. Metode Simulasi	101
3.5. Metode Eksperimen	105
3.6. Optimasi	106
3.7. Tahapan Penelitian	107
3.8. Teknik Analisis Data	110
3.8.1. Analisis Deskripsi	110
3.8.2. Analisis Korelasi	111
 <b>BAB 4 KONDISI IKLIM DAN KARAKTERISTIK LANSEKAP RUANG KOTA DI SURABAYA</b>	 117
4.1. Profil Kondisi Iklim kota Surabaya	117
4.2. Karakteristik Komposisi dan Konfigurasi Lansekap Ruang Kota	123
4.2.1. Tipe Lansekap Open-set Highrise	124
4.2.2. Tipe Lansekap Open-set Midrise	125
4.2.3. Tipe Lansekap Open-set Lowrise	126
4.2.4. Tipe Lansekap Open-set Trees	128
4.2.5. Tipe Lansekap Compact Midrise	129
4.2.6. Tipe Lansekap Compact Lowrise	130
4.2.7. Tipe Lansekap Dispersed Lowrise	132
4.2.8. Tipe Lansekap Extensive Lowrise	133
4.3. Karakteristik Pembayangan yang dihasilkan oleh Komposisi dan Konfigurasi Lansekap Ruang Kota	135
4.3.1 Tipe Lansekap Open-set Highrise	138
4.3.2 Tipe Lansekap Open-set Midrise	139
4.3.3 Tipe Lansekap Open-set Lowrise	140
4.3.4 Tipe Lansekap Open-set Trees	141
4.3.5 Tipe Lansekap Compact Midrise	142
4.3.6 Tipe Lansekap Compact Lowrise	143
4.3.7 Tipe Lansekap Dispersed Lowrise	144
4.3.8 Tipe Lansekap Extensive Lowrise	145
4.4. Rangkuman dan Diskusi	146
4.4.1. Karakteristik Komposisi dan Konfigurasi Lansekap Ruang Kota	146
4.4.2. Pembayangan yang dihasilkan oleh Lansekap Ruang Kota	148
 <b>BAB 5 SISTEM LINGKUNGAN TERMAL PERKOTAAN</b>	 153
5.1. Kondisi Termal pada Lansekap Ruang Kota	153
5.1.1 Tipe Lansekap Open-set Highrise	153
5.1.2. Tipe Lansekap Open-set Midrise	155

5.1.3.	Tipe Lansekap Open-set Lowrise	156
5.1.4.	Tipe Lansekap Open-set Trees	158
5.1.5.	Tipe Lansekap Compact Midrise	160
5.1.6.	Tipe Lansekap Compact Lowrise	161
5.1.7.	Tipe Lansekap Dispersed Lowrise	163
5.1.8.	Tipe Lansekap Extensive Lowrise	165
5.1.9.	Perbandingan Pola Kondisi Iklim Mikro selama 24 Jam di Setiap Tipe Lansekap	166
5.2.	Pengaruh Komposisi dan Konfigurasi di setiap tipe lansekap Lansekap Ruang Kota terhadap Kondisi Lingkungan Termal	180
5.2.1.	Pengaruh Komposisi Lansekap	180
5.2.2.	Pengaruh Orientasi Jalan /Kawasan	184
5.2.3.	Pengaruh Pola Massa Bangunan	187
5.2.4.	Pengaruh Perbandingan Nilai H/W	189
5.2.5.	Pengaruh Pola Penataan Vegetasi	191
5.2.6.	Pengaruh Panas Antropogenik	193
5.3.	Pengaruh Pembayangan terhadap Kondisi Lingkungan Termal	194
5.4.	Rangkuman dan Diskusi : Pengaruh Karakteristik Komposisi dan Konfigurasi serta Pembayangan terhadap Kondisi Lingkungan Termal	197
 BAB 6 SIMULASI SISTEM LINGKUNGAN TERMAL PERKOTAAN		 207
6.1.	Verifikasi Data Iklim Mikro di Tipe Lansekap	207
6.2.	Hasil Simulasi Kondisi Lingkungan Termal dan Kenyamanan Termal Ruang Luar di setiap Tipe Lansekap	210
6.2.1.	Kondisi Lingkungan Termal di Setiap Tipe Lansekap pada Bulan Terpanas dan Bulan Terdingin	211
6.2.2.	Kenyamanan Termal Ruang Luar (PET °C) di Setiap Tipe Lansekap pada Bulan Terpanas dan Terdingin	233
6.3.	Hasil Analisa Statistik MANOVA: Kondisi Lingkungan Termal dan Kenyamanan Termal Hasil Simulasi pada Bulan Terpanas dan Terdingin	243
6.3.1.	Kondisi Lingkungan Termal dan Kenyamanan Termal pada Bulan Terpanas	244
6.3.2.	Kondisi Lingkungan Termal dan Kenyamanan Termal pada Bulan Terdingin	247
6.3.3.	Diskusi Hasil Simulasi Kondisi Lingkungan Termal dan Kenyamanan Termal Ruang Luar di Setiap Tipe Lansekap	250
6.4.	Eksperimen sebagai Hasil Akhir untuk Model Sistem Termal Lingkungan Perkotaan	252
6.4.1.	Rancangan Eksperimen	252
6.4.2.	Model Eksperimen	253
6.4.3.	Hasil Eksperimen	259
6.4.4.	Model Sistem Lingkungan Termal Perkotaan	281
6.5.	Rangkuman Hasil Pengukuran Lapangan, Simulasi dan	294

Eksperimen	
BAB 7 KESIMPULAN DAN SARAN	301
7.1. Kesimpulan	301
7.1.1. Karakteristik Komposisi dan Konfigurasi serta Pembayangan Lansekap Ruang Kota	301
7.1.2. Pengaruh Komposisi dan konfigurasi serta Pembayangan yang dihasilkan oleh Lansekap Ruag Kota terhadap Kondisi Lingkungan Termal Perkotaan	303
7.1.3. Model Sistem Lingkungan Termal yang dipengaruhi oleh Komposisi dan konfigurasi serta Pembayangan yang dihasilkan oleh Lansekap Ruag Kota terhadap Kondisi Lingkungan Termal	308
7.2. Kebaruan Hasil Penelitian	312
7.3. Saran	312
DAFTAR PUSTAKA	315
LAMPIRAN	321

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1	Profil <i>UHI</i> yang memperlihatkan terjadinya perbedaan suhu di perkotaan dan pedesaan	1
Gambar 1.2	Jumlah Luasan tiap Jenis RTH pada tiap Wilayah Unit Pengembangan	8
Gambar 1.3	Temperatur Udara Kota Surabaya Tahun 2006	8
Gambar 1.4	Diagram <i>FamilyTree</i> sebagai Dasar Pengetahuan dalam Kontribusi Penelitian	15
Gambar 1.5	Posisi Penelitian terhadap Studi Sistem Termal Perkotaan	16
Gambar 2.1	Skema Skala Iklim dan Batas Vertikal pada Daerah Perkotaan	21
Gambar 2.2	Pendekatan Zona Iklim Lokal ( <i>Local Climate Zone/LZC</i> ) untuk Mengidentifikasi dan Memodifikasi Iklim Mikro Perkotaan	23
Gambar 2.3	Karakteristik Iklim Mikro	24
Gambar 2.4	Pertukaran panas pada pukul 12.00 dalam musim panas	25
Gambar 2.5	Batasan Iklim Tropis	28
Gambar 2.6	Kedudukan Kontribusi Hasil Penelitian terhadap Sistem Konseptual Dari Urutan <i>World Views, Framework, Models</i> dan <i>Explanatory Theories</i>	31
Gambar 2.7	Perilaku Termal dan Karakteristik kondisi iklim mikro perkotaan-pedesaan	33
Gambar 2.8	Sistem termal pada suatu perkotaan	34
Gambar 2.9	Diagram skematik keseimbangan panas permukaan perkotaan dan pedesaan	36
Gambar 2.10	Skema representasi dari radiasi dan aliran energi pada lanskap pedesaan dan perkotaan pada hari yang cerah. Lebar panah mendekati ukuran relatif dari aliran	37
Gambar 2.11	Pengaruh suhu radiasi ( $T_g$ ) dan kecepatan angin terhadap kenyamanan termal pejalan kaki ( $T_a = 30^{\circ}\text{C}$ ; $\text{HR} = 75\%$ )	42
Gambar 2.12	Tipe Karakter Regional Desa Dan Kota	49
Gambar 2.13	Tipe Karakter <i>Regional Linier city</i>	49
Gambar 2.14	Tipe Karakter <i>Regional transit-oriented design</i>	49
Gambar 2.15	Tipe –tipe Lansekap (a) <i>Residential Road</i> (b) <i>Commercial Street</i> (c) <i>Residential Street</i>	52
Gambar 2.16	Klasifikasi wilayah berdasarkan skala iklim : zona bangunan/ <i>built area</i> dan zona alami	55
Gambar 2.17	Data dan hasil pengukuran pada salah satu zona built area: <i>open-set highrise</i>	58
Gambar 2.18	Pengukuran pada permukaan dinding yang terbayangi	60
Gambar 2.19	Pengukuran lapangan	60
Gambar 2.20	Kebutuhan peningkatan pembayangan pada daerah iklim tropis	61
Gambar 2.21	Hasil proyeksi bayangan pada koridor jalan pada waktu yang berbeda	62



Gambar 2.22	Sifat termal dan radiasi dari masing-masing properti fisik perkotaan	65
Gambar 2.23	Perbedaan temperatur permukaan dan temperatur udara pada setiap jenis penutupan lahan (Nichol et al, 2009)	66
Gambar 2.24	Perbedaan temperatur permukaan elemen lansekap dengan temperatur udara di daerah terbuka: (a) terbayangi (b) tidak terbayangi	67
Gambar 2.25	Pohon sebagai kontrol dari radiasi matahari, angin dan temperatur	68
Gambar 2.26	Bentuk pohon	69
Gambar 2.27	Model kanopi pohon dapat memprediksi iklim mikro	70
Gambar 2.28	Penurunan temperatur udara yang disebabkan oleh zona penghijauan pada suatu perkotaan di seluruh dunia	72
Gambar 2.29	Pengaruh zona hijau terhadap pendinginan suasana di perkotaan dilihat dari faktor jarak	73
Gambar 2.30	Proses <i>UHI</i> pada iklim mikro perkotaan: Kendaraan merupakan salah satu faktor yang mempengaruhi temperatur perkotaan	74
Gambar 2.31	Alur Pikir Kajian Teori Terkait Tujuan Penelitian	80
Gambar 3.1	Peta Penggunaan Lahan dan Lokasi Penelitian di UP – VIII Satelit	89
Gambar 3.2	Pemetaan ( <i>mapping</i> ) tipe lansekap di kota Surabaya	90
Gambar 3.3	Lokasi Penelitian di UP – VIII Satelit Surabaya Barat	92
Gambar 3.4	Pengukuran Survei Lapangan	99
Gambar 3.5	Skema Tahapan Simulasi	103
Gambar 3.6	Diagram Gradient untuk Optimasi	107
Gambar 3.7	Kerangka Penelitian	115
Gambar 4.1	Kondisi iklim makro di Surabaya dalam kurun waktu 5 tahun terakhir	119
Gambar 4.2	Kondisi iklim makro Kota Surabaya dalam diagram psikometrik	121
Gambar 4.3	Profil iklim makro bulan Juli (terdingin) selama 24 jam	122
Gambar 4.4	Profil iklim makro bulan Oktober (terpanas) selama 24 jam	122
Gambar 4.5	Diagram matahari/ <i>Solar Chart</i> : posisi matahari untuk mengetahui hasil pembayangan pada (a) bulan terdingin (b) bulan terpanas	136
Gambar 4.6	Posisi matahari pada saat bulan terdingin dan terpanas	137
Gambar 4.7	Hasil Simulasi Pembayangan di Tipe <i>Open-set Highrise</i> (OSH) pada bulan terpanas	138
Gambar 4.8	Hasil Simulasi Pembayangan di Tipe <i>Open-set Midrise</i> (OSM) pada bulan terpanas	139
Gambar 4.9	Hasil Simulasi Pembayangan di Tipe <i>Open-set Lowrise</i> (OSL) pada bulan terpanas	140
Gambar 4.10	Hasil simulasi pembayangan di tipe <i>Open-set Trees</i> (OST) pada bulan terpanas	141
Gambar 4.11	Hasil Simulasi Pembayangan di Tipe <i>Compact Midrise</i> (CM) pada bulan terpanas	142

Gambar 4.12	Hasil simulasi pembayangan di tipe <i>Compact Lowrise</i> (CL) pada bulan terpanas	143
Gambar 4.13	Hasil simulasi pembayangan di tipe <i>Dispersed Lowrise</i> (DL) pada bulan terpanas	144
Gambar 4.14	Hasil simulasi pembayangan di tipe <i>Extensive Lowrise</i> (EL) pada bulan terpanas	145
Gambar 5.1	Kondisi Iklim Mikro di Tipe Lansekap OSH	153
Gambar 5.2	Kondisi Iklim Mikro di Tipe Lansekap OSM	155
Gambar 5.3	Kondisi Iklim Mikro di Tipe Lansekap OSL	157
Gambar 5.4	Kondisi Iklim Mikro di Tipe Lansekap OST	159
Gambar 5.5	Kondisi Iklim Mikro di Tipe Lansekap CM	160
Gambar 5.6	Kondisi Iklim Mikro di Tipe Lansekap CL	162
Gambar 5.7	Kondisi Iklim Mikro di Tipe Lansekap DL	164
Gambar 5.8	Kondisi Iklim Mikro Tipe Lansekap EL	166
Gambar 5.9	Perbandingan Kondisi Temperatur Udara (a) Daerah Terbayangi (b) Daerah Tidak Terbayangi di setiap Tipe Lansekap dengan Data Makro Surabaya	168
Gambar 5.10	Kecenderungan Pola Pergerakan Temperatur Udara	170
Gambar 5.11	Perbandingan Kondisi Kelembaban Udara (a) Daerah Terbayangi (b) Daerah Tidak Terbayangi di setiap Tipe Lansekap dengan Data Makro Surabaya	171
Gambar 5.12	Kecenderungan Pola Pergerakan Kelembaban Udara	172
Gambar 5.13	Perbandingan Kondisi Kecepatan Angin di setiap Tipe Lansekap dengan Data Makro Surabaya	173
Gambar 5.14	Kecenderungan Pola Pergerakan Kecepatan Angin	175
Gambar 5.15	Perbandingan Kondisi Intensitas Radiasi Matahari di setiap Tipe Lansekap dengan Data Makro Surabaya	176
Gambar 5.16	Perbandingan Karakteristik Komponen Penutup Lahan di setiap Tipe Lansekap	181
Gambar 5.17	Hubungan Persentase Komponen Penutup Lahan terhadap Temperatur pada Daerah Terbayangi	182
Gambar 5.18	Pengaruh Prosentase Penutup Lahan Alami terhadap Temperatur dan Kelembaban Udara rata-rata (a) Siang Hari (b) Malam Hari	183
Gambar 5.19	Hubungan Orientasi Jalan dengan Kondisi Iklim Mikro selama Siang Hari	186
Gambar 5.20	Hubungan Pola Massa Bangunan dan Kondisi Iklim Mikro Selama Siang Hari	188
Gambar 5.21	Hubungan H/W dan Kondisi Termal di setiap tipe lansekap Selama Siang Hari	190
Gambar 5.22	Hubungan H/W dan Prosentase Bayangan di setiap tipe lansekap	191
Gambar 5.23	Hubungan Pola Penataan Vegetasi dan kondisi termal di setiap tipe lansekap pada Siang Hari	192
Gambar 5.24	Gambaran Frekuensi arus lalu lintas di setiap tipe lansekap	194
Gambar 5.25	Hubungan Prosentase Bayangan dan kondisi termal di setiap tipe lansekap pada Siang Hari	197

Gambar 6.1	Perbedaan Temperatur Udara Hasil Pengukuran Lapangan dan Hasil Simulasi	209
Gambar 6.2	Temperatur udara Hasil Simulasi di Setiap Tipe Lansekap (a) Bulan Terpanas (b) Bulan Terdingin	212
Gambar 6.3	Kondisi Termal di Tipe Lansekap OST Pukul 16:00 pada Bulan Terpanas (a) Temperatur Udara (b) Potongan Kecepatan Angin	213
Gambar 6.4	Pengaruh Komposisi Penutup Lahan terhadap Kondisi Termal pada Bulan Terpanas	216
Gambar 6.5	Temperatur udara di Tipe Lansekap dengan proporsi di atas 50% (seperti Tipe Lansekap CL) dan di bawah 50% (Tipe lansekap DL)	217
Gambar 6.6	Pengaruh Orientasi Jalan terhadap Temperatur Udara, Kelembaban Udara, Kecepatan Angin dan Intensitas Radiasi Matahari pada Bulan Terpanas	219
Gambar 6.7	Pengaruh Pola Massa Bangunan terhadap Temperatur Udara, Kelembaban Udara, Kecepatan Angin dan Intensitas Radiasi Matahari pada Bulan Terpanas	220
Gambar 6.8	Pengaruh Nilai H/W terhadap terhadap Temperatur Udara, Kelembaban Udara, Kecepatan Angin dan Intensitas Radiasi Matahari pada Bulan Terpanas	221
Gambar 6.9	Perbedaan Temperatur Udara di Tipe Lansekap yang Mewakili Nilai H/W < 1 ( <i>Lowrise</i> ), H/W 1-2 ( <i>Midrise</i> ) Dan H/W 3 ( <i>Highrise</i> ).	224
Gambar 6.10	Pengaruh Pola Penataan Vegetasi terhadap Temperatur Udara, Kelembaban Udara, Kecepatan Angin dan Intensitas Radiasi Matahari pada Bulan Terpanas	225
Gambar 6.11	Penerimaan Radiasi Matahari yang terhalangi Pohon di orientasi B– T (tipe OSH), U-S (Tipe CL) dan BL-TG (Tipe OSL)	227
Gambar 6.12	Kondisi Termal pada Daerah Terbayangi dan Tidak Terbayangi di Tipe Lansekap OST (a) Temperatur Utara (b) Intensitas Radiasi Matahari (c) Kecepatan Angin	229
Gambar 6.13	Pengaruh Persentase Pembayangan dari bangunan dan pohon terhadap Kondisi Termal pada Bulan Terpanas	230
Gambar 6.14	Nilai PET rata-rata di setiap Tipe Lansekap pada Bulan Terpanas dan Terdingin	233
Gambar 6.15	Hasil Simulasi Distribusi Nilai PET di Tipe OSH ( <i>Open-set Highrise</i> ) di Orientasi Barat-Timur pada pukul 16:00	235
Gambar 6.16	Hasil Simulasi Distribusi Nilai PET (a) Tipe OSM ( <i>Open-set Midrise</i> ) di Orientasi Barat-Timur (b) Tipe OSL ( <i>Open-set Lowrise</i> ) di Orientasi Barat Laut – Tenggara	237
Gambar 6.17	Hasil Simulasi Distribusi Nilai PET di Tipe CL ( <i>Compact Lowrise</i> ) (a) Bulan Terpanas (b) Bulan Terdingin	238
Gambar 6.18	Hasil Simulasi Distribusi Nilai PET di Tipe OST ( <i>Open-Set Trees</i> ) pada Bulan Terpanas	236
Gambar 6.19	Proses pengaruh lansekap dan pembayangan terhadap	244

	kondisi termal dan Kenyamanan Termal Ruang Luar dengan cara analisa statistik MANOVA	
Gambar 6.20	Diagram Model Eksperimen Berdasarkan Modifikasi Komponen Penutup Lahan.	254
Gambar 6.21	Model Eksperimen	258
Gambar 6.22	Tipe Lansekap DL yang menggambarkan Bentuk Model Eksperimen yang berada di Perempatan Jalan.	255
Gambar 6.23	Perbedaan Tinggi H/W pada model eksperimen PLB+PLA+P+B	257
Gambar 6.24	Kondisi Iklim Mikro rata-rata di setiap Model Eksperimen Berdasarkan Modifikasi Persentase Komponen Penutup Lahan	260
Gambar 6.25	Sebaran Nilai PET di Tipe Lansekap LBA7525	263
Gambar 6.26	Perbedaan peningkatan Persentase 50%PLA lebih efektif menurunkan nilai PET 1% (0,4 K) dibandingkan 25%PLA (0,6%)	264
Gambar 6.27	Perbedaan peningkatan nilai PET pada peningkatan Persentase pohon 50% dan 70%	267
Gambar 6.28	Tipe lansekap LBA217-P12-B60 dengan penambahan pohon 30% yang paling efektif menciptakan kenyamanan termal ruang luar (a) potongan horizontal (b) potongan vertikal.	270
Gambar 6.29	Tipe lansekap LBA12.512.5-P25-B50 yang paling Efektif menurunkan Temperatur Udara pada Penambahan Pohon 50% (a) potongan horizontal (b) potongan vertikal.	271
Gambar 6.30	Tipe lansekap LBA3.7511.25-P35-B50 yang dapat Meningkatkan Temperatur Udara pada Penambahan Pohon 70% (a) Potongan Horizontal (b) Potongan Vertikal	273
Gambar 6.31	Perbedaan sebaran PET berdasarkan nilai rata-rata dan modus pada dua tipe lansekap yang paling efektif menurunkan nilai PET	277
Gambar 6.32	Nilai PET di Setiap Model Eksperimen (a) Nilai Rata-rata (b) Nilai modus berdasarkan klasifikasi sensasi termal di Singapura	281
Gambar 6.33	Tipe lansekap dengan penambahan pohon 50% yang paling efektif menciptakan kenyamanan termal ruang luar (a) potongan horizontal (b) potongan vertikal.	289
Gambar 6.34	Diagram Kuadran Optimum Model Sistem Lingkungan Termal Perkotaan	290
Gambar 6.35	Model Pembayangan dan Lansekap yang termasuk dalam Kriteria Zona Optimasi	293
Gambar 6.36	Kesimpulan Diskusi dan Hasil Penelitian	295
Gambar 7.1	Tipe-tipe Lansekap yang termasuk Zona Optimum dan Tidak Optimum	308
Gambar 7.2	Model Skematik Sistem Lingkungan Termal Perkotaan di Daerah Tropis Lembab	309
Gambar 7.3	Kebaruan Hasil Penelitian	312

**Halaman ini sengaja dikosongkan**

## DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Klasifikasi Skala Iklim menurut Boutet	20
Tabel 2.2	Klasifikasi Skala Iklim menurut Allard	20
Tabel 2.3	Klasifikasi Sistem Spasial Iklim	21
Tabel 2.4	Lingkungan Termal Perkotaan	38
Tabel 2.5	Kenyamanan Termal di daerah Tropis	40
Tabel 2.6	Kebutuhan Kecepatan Angin untuk Kenyamanan Termal	41
Tabel 2.7	Indeks Rasional Kenyamanan termal yang umum telah digunakan pada studi kenyamanan termal ruang luar	43
Tabel 2.8	Klasifikasi thermal sensation di Taiwan dan Eropa Barat	44
Tabel 2.9	Perbandingan Nilai Kenyamanan Termal Ruang Luar PET di Negara Tropis dan Subtropis	45
Tabel 2.10	Karakteristik Termis Global untuk Sejumlah Tipe Pakaian	46
Tabel 2.11	Angka Metabolisme untuk sejumlah aktivitas yang berbeda	46
Tabel 2.12	Kriteria Zona Iklim Lokal ( <i>Local Climate Zone</i> )	56
Tabel 2.13	Nilai Termal Propertis Dari komponen penutup lahan	66
Tabel 2.14	Nilai-nilai pemantulan dan penyerapan bahan dan jenis permukaan penutup lahan	66
Tabel 2.15	Dasar Pengetahuan ( <i>base of knowledge</i> ) dalam penelitian	77
Tabel 3.1	Pemetaan ( <i>mapping</i> ) tipe lansekap di kota Surabaya	91
Tabel 3.2	Pembagian Tipe Lansekap pada Objek Penelitian	93
Tabel 3.3	Jenis dan Teknik Pengambilan Data	100
Tabel 3.4	Penyederhanaan Model Simulasi ENVI-met untuk Kedelapan Tipe Lansekap	102
Tabel 3.5	Kelebihan dan Kekurangan Program Simulasi ENVI-met V.3.1	105
Tabel 4.1	Data Iklim Kota Surabaya tahun 2007-2011	117
Tabel 4.2	Karakteristik Tipe Lansekap OSH	124
Tabel 4.3	Karakteristik Tipe Lansekap OSM	125
Tabel 4.4	Karakteristik Tipe Lansekap OSL	126
Tabel 4.5	Karakteristik Tipe Lansekap OST	128
Tabel 4.6	Karakteristik Tipe Lansekap CM	129
Tabel 4.7	Karakteristik Tipe Lansekap CL	130
Tabel 4.8	Karakteristik Tipe Lansekap DL	132
Tabel 4.9	Karakteristik Tipe Lansekap EL	133
Tabel 4.10	Karakteristik Pembayangan	135
Tabel 4.11	Perbandingan Karakteristik komposisi dan konfigurasi lansekap ruang kota	150

Tabel 4.12	Perbandingan karakteristik pembayangan	151
Tabel 5.1	Perbandingan Kondisi Termal di Setiap Tipe Lansekap	179
Tabel 5.2	Hubungan Prosentase Elemen Lansekap dan Kondisi Iklim Mikro	182
Tabel 5.3	Hubungan pembayangan dan lansekap ruang kota terhadap sistem termal perkotaan	199
Tabel 6.1	Verifikasi Hasil Pengukuran Lapangan dan Simulasi Berdasarkan Penelitian Terdahulu	208
Tabel 6.2	Nilai PET rata-rata di setiap Tipe Lansekap	235
Tabel 6.3	Hubungan Lansekap dan Pembayangan terhadap Peningkatan dan Penurunan Nilai Kenyamanan Termal Ruang Luar PET	239
Tabel 6.4	Pengaruh Lansekap dan Pembayangan terhadap Kondisi Lingkungan Termal dan Kenyamanan Termal Ruang Luar pada Bulan Terpanas (Hasil Signifikansi $\alpha \leq 0,05$ )	245
Tabel 6.5	Hasil Signifikansi ( $\alpha \leq 0,05$ ) Pengaruh Tipe Lansekap terhadap Kondisi Termal Bulan Terpanas.	246
Tabel 6.6	Hasil Signifikansi ( $\alpha \leq 0,05$ ) Pengaruh Pembayangan terhadap Kondisi Lingkungan Termal dan Kenyamanan Termal pada Bulan Terpanas	247
Tabel 6.7	Pengaruh Lansekap dan Pembayangan terhadap Kondisi Lingkungan Termal dan Kenyamanan Termal pada Bulan Terdingin (Hasil Signifikansi $\alpha \leq 0,05$ )	248
Tabel 6.8	Hasil Signifikansi ( $\alpha \leq 0,05$ ) Pengaruh Pembayangan terhadap Kondisi Lingkungan Termal Bulan Terdingin	249
Tabel 6.9	Hasil Signifikansi ( $\alpha \leq 0,05$ ) Pengaruh Tipe Lansekap terhadap Kondisi Lingkungan Termal pada Bulan Terdingin	250
Tabel 6.10	Model Lansekap	255
Tabel 6.11	Persentase Penurunan dan Peningkatan Kondisi Iklim akibat modifikasi komponen penutup lahan Tipe Lansekap	259
Tabel 6.12	Kondisi Termal pada pengkondisian 1. PLB+PLA	262
Tabel 6.13	Kondisi Termal pada pengkondisian 2. PLB+PLA+P	265
Tabel 6.14	Kondisi Termal pada pengkondisian 3a. PLB+PLA+P+B	268
Tabel 6.15	Kondisi Termal pada pengkondisian 3b. PLB+PLA+P+B	272
Tabel 6.16	Kondisi Termal pada pengkondisian 3c. PLB+PLA+P+B	274
Tabel 6.17	Persentase Penurunan dan Peningkatan Kondisi Iklim akibat modifikasi komponen penutup lahan Tipe Lansekap	278

Tabel 6.18	Matriks Pengaruh Komponen Penutup Lahan terhadap Kondisi Kenyamanan Termal	282
Tabel 6.19	Matriks Pengaruh Komponen Lansekap : Penutup Lahan terhadap Kondisi Termal	285
Tabel 6.20	Perbandingan Nilai Kenyamanan Termal Ruang Luar PET di Negara Tropis dan Subtropis	291
Tabel 6.21	Rangkuman Hasil Penelitian	296
Tabel 7.1	Tipe Lansekap	302



**Halaman ini sengaja dikosongkan**

## DAFTAR SIMBOL DAN ISTILAH

UHI	: <i>Urban Heat Island</i>
$\Delta T$	: Perbedaan Temperatur Udara
SVF	: <i>Sky View Factor/</i>
RTH	: Ruang Terbuka Hijau
UCL	: <i>Urban Canopy Layer</i>
LCZ	: <i>Local Clime Zone</i>
In	: Intensitas Radiasi Matahari
Watt/m <sup>2</sup>	: Watt per meter kuadrat (satuan Intensitas Radiasi Matahari)
T	: Temperatur Udara
<sup>0</sup> C	: Derajat Celcius (satuan temperatur udara)
K	: Derajat Kelvin (satuan perbedaan temperatur udara)
RH	: Kelembaban Udara
V	: Kecepatan Angin
m/s	: Meter per detik (satuan kecepatan angin)
TE	: Temperatur Efektif
PET	: <i>Physiologically Equivalent Temperature</i>
T <sub>mrt</sub>	: Temperatur Radiasi Matahari Rata-rata
T <sub>g</sub>	: Temperatur Globe
H/W	: Perbandingan tinggi bangunan dan lebar jalan
LAI	: <i>Leaf Area Index</i>
LAD	: <i>Leaf Area Density</i>
OSH	: <i>Open-set Highrise</i>
OSM	: <i>Open-set Midrise</i>
OSL	: <i>Open-set Lowrise</i>
CM	: <i>Compact Midrise</i>
CL	: <i>Compact Lowrise</i>
DL	: <i>Dispersed Lowrise</i>
EL	: <i>Extensive Lowrise</i>
OST	: <i>Open-set Trees</i>
PLB	: Penutup Lahan Buatan
PLA	: Penutup Lahan Alami
P	: Pohon
B	: Bangunan
LBA	: Lahan Buatan Alami

**Halaman ini sengaja dikosongkan**

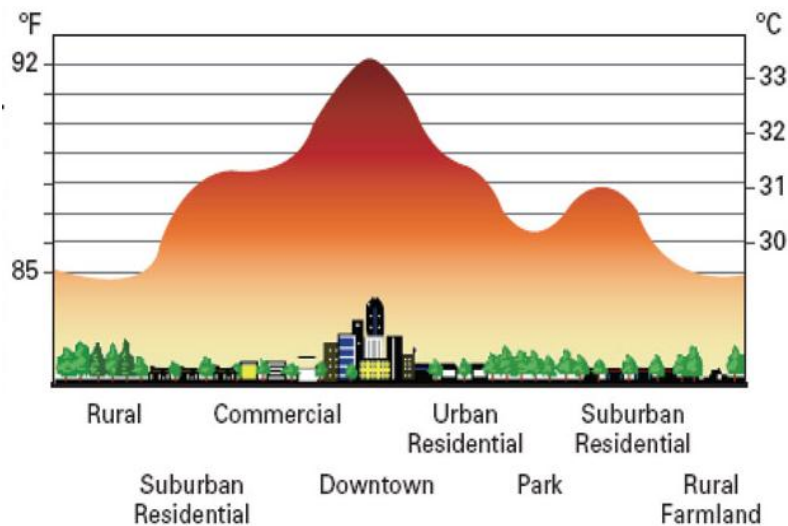
# BAB 1

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

#### 1.1.1 Lingkungan Termal Perkotaan

Perubahan lingkungan termal perkotaan merupakan isu global yang terjadi di kota-kota besar. Hal ini ditunjukkan dengan adanya perubahan temperatur udara kota. Perubahan itu tidak terlepas dari perubahan fisik kota terutama pada perubahan penggunaan lahan yang dapat mengubah faktor penting di berbagai kota dan dapat mengarah terjadinya fenomena termal perkotaan yang dikenal sebagai *Urban Heat Island (UHI)*, yaitu terjadinya peningkatan temperatur di pusat kota (Cha dkk, 2007) (Gambar 1.1).



Gambar 1.1 Profil *UHI* yang memperlihatkan terjadinya perbedaan suhu di perkotaan dan pedesaan (Oktaviantogustin, 2011)

Profil *UHI* lebih didefinisikan dari adanya perbedaan temperatur udara di perkotaan dan pedesaan " $\Delta T_{\text{urban-rural}}$ " (Oke, 1976). Penyebab utama dari fenomena *UHI* adalah pergantian tutupan lahan alami dengan perkerasan, bangunan, dan infrastruktur lainnya. Pergantian ini akan mengurangi jumlah pohon dan tanaman sehingga mengurangi efek pendinginan alami dari pembayangan dan penguapan air dari tanah dan dedaunan (*evapotranspiration*).

Meningkatnya jumlah bangunan tinggi sehingga membentuk jalur-jalur jalan sempit memerangkap udara panas dan menghambat aliran udara (*geometry effect*) (Jusuf dkk, 2007). Di samping itu, meningkatnya buangan panas akibat kegiatan manusia seperti panas dari kendaraan, pabrik dan pengkondisian udara (*air conditioning/AC*). Hal ini dapat mempengaruhi peningkatan panas lingkungan serta peningkatan polusi udara (*anthropogenic heat*) (Grimmond dkk, 2010).

Dari paparan di atas, dapat dinyatakan bahwa fenomena *UHI* tersebut merupakan salah satu faktor yang dapat mempengaruhi kondisi termal di suatu perkotaan. Sebagaimana yang dinyatakan oleh Oke (1977), Markus & Morris (1980), Krishan dkk (2001) dan Zhao (2011) bahwa sistem lingkungan termal perkotaan pada intinya terdiri dari komponen elemen iklim perkotaan, lingkungan binaan (*built environment*), bentuk perpindahan panas yang terjadi dan komponen lainnya di perkotaan. Kemudian Zhou dkk (2011) dan Du, Shihong dkk (2016) menjelaskan ada 2 (dua) aspek fundamental dari pola tutupan lahan, yaitu komposisi dan konfigurasi. Komposisi merupakan proporsi jenis tutupan lahan yang berbeda, sedangkan konfigurasi merupakan karakteristik spasial, pengaturan, posisi, kompleksitas penutup lahan. Berdasarkan faktor yang mempengaruhi kondisi termal perkotaan tersebut dapat diketahui beberapa strategi penanggulangnya, seperti memodifikasi iklim perkotaan.

Dalam kurun waktu 10 tahun terakhir, banyak penelitian-penelitian yang menjelaskan tentang berbagai cara penanggulangan untuk mengurangi efek *UHI* dan untuk mencapai tingkat kenyamanan termal pada lingkungan luar. Misalnya peningkatan pembuatan jaringan hijau (*green network*) dalam suatu perkotaan guna untuk mengurangi panas di kota (Cha dkk, 2007). Selain itu, penguapan dan evaporasi vegetasi di dekat bangunan (Shahidan dkk, 2010), bayangan yang tercipta dari vegetasi dan benda buatan manusia (Lin dkk, 2010). Dengan demikian, penelitian ini akan mengkaji seberapa besar pengaruh konfigurasi dan komposisi lansekap ruang kota serta pembayangan yang dihasilkan oleh komposisi dan konfigurasi lansekap ruang kota terhadap sistem lingkungan termal perkotaan di daerah tropis lembab.

### **1.1.2 Lansekap Ruang Perkotaan dan Pembayangan sebagai Faktor yang Mempengaruhi Kondisi Lingkungan Termal Perkotaan**

Salah satu unsur lansekap perkotaan adalah zona penghijauan (Grimmond dkk, 1996). Banyak penelitian terdahulu yang berkaitan dengan pemanfaatan lansekap perkotaan, salah satunya adalah pengaruh zona penghijauan terhadap dampak termal dari suatu kota (Li dkk, 2011). Menurut pendapat Oliveira dkk (2011) zona penghijauan ini dapat mengurangi peningkatan temperatur akibat dari adanya *UHI*. Berbeda dengan pendapat Jusuf dkk (2006) yang mendeskripsikan bahwa tidak hanya zona penghijauan yang dapat mengurangi peningkatan temperatur udara kota, tetapi juga dipengaruhi oleh lingkungan binaan (*built environment*) sekitar. Kedua faktor tersebut menciptakan bayangan yang dapat menghalangi radiasi matahari (Lin dkk, 2010).

Beberapa studi telah membahas tentang efek bayangan pada lingkungan termal di suatu perkotaan. Sebagai contoh, Shashua-Bar dkk (2000) mengeksplorasi efek pendinginan dari kawasan penghijauan karena adanya unsur pembayangan (*shading*) yang tercipta dari geometri dan karakteristik pohon, di kota kecil Tel-Aviv, Israel yang beriklim panas. Pada penelitian selanjutnya Shashua-Bar dkk (2003) menjelaskan efek pendinginan dari bayangan pohon yang memiliki peran dalam menghalangi radiasi matahari ditinjau dari aspek geometri (*urban geometry*) dan orientasi pada koridor jalan (*canyon street*). Aspek geometri yang dimaksud berupa perbandingan tinggi bangunan dengan lebar jalan dan berorientasi menghadap Utara-Selatan; Timur-Barat.

Hal ini sama dengan penelitian yang dilakukan oleh Bourbia dkk (2004) di wilayah Sahara, Algeria yang beriklim panas-kering. Terdapatnya varian temperatur udara dengan temperatur permukaan yang dipengaruhi oleh aspek bayangan yang tercipta dari bangunan dan aspek faktor langit (*Sky View Factor/SVF*) pada koridor jalan. Dengan kata lain, terdapatnya korelasi yang besar antara geometri jalan, *SVF* dan temperatur permukaan yang dapat menurunkan temperatur udara setempat. Namun, pada penelitian ini elemen vegetasi tidak disebutkan, berbeda dengan penelitian sebelumnya oleh Shashua-Bar dkk (2003).

Ada beberapa penelitian yang khusus mendeskripsikan pengaruh bayangan dari vegetasi terhadap kenyamanan termal ruang luar yang dapat dirasakan seseorang. Diantaranya Picot (2004) yang menjelaskan bahwa vegetasi harus dipertimbangkan untuk dapat mengontrol kondisi iklim mikro di suatu ruang terbuka kota Milan, Italy. Dalam studi kasusnya menyebutkan pertumbuhan usia vegetasi dari bentuk yang kecil sampai tumbuh besar akan mengalami proses dalam penurunan temperatur dari bayangan yang tercipta. Demikian juga dilakukan oleh Shahidan dkk (2010) di Malaysia yang beriklim tropis lembab, yang membandingkan dua jenis nama vegetasi dengan karakter yang berbeda dalam modifikasi bayangan yang terbentuk dan penerimaan radiasi matahari untuk meningkatkan kenyamanan termal ruang luar. Secara tidak langsung ini menunjukkan bahwa karakteristik dari suatu vegetasi akan memberikan pengaruh dalam menurunkan temperatur udara sekitar dan dapat meningkatkan kenyamanan termal ruang luar, di samping pengaruh dari pembayangan yang dibentuk.

Lin dkk (2010) melakukan penelitian di Taiwan bahwa kenyamanan termal yang dirasakan seseorang yang dipengaruhi oleh bayangan dan faktor view langit (*Sky View Factor/SVF*). Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa *SVF* tinggi (sedikit bayangan) menyebabkan ketidaknyamanan di musim panas dan *SVF* rendah (sangat terbayangi) menyebabkan ketidaknyamanan di musim dingin. Hasil penelitian ini menyarankan agar perencanaan ruang luar di Taiwan, cukup menyediakan bayangan dari pepohonan dan bangunan pada musim panas. Ketika pada musim dingin harus menghindari penciptaan bayangan yang berlebihan, dikarenakan musim panas dan musim dingin di Taiwan ini tergolong ringan.

Hwang dkk (2011) mendeskripsikan adanya korelasi antara faktor bayangan dan kenyamanan termal ruang luar yang juga dilakukan di Taiwan, khususnya di jalan-jalan perkotaan. Kenyamanan termal terbaik dirasakan ketika adanya bayangan pada musim panas, gugur dan semi, tetapi pada musim dingin kenyamanan termal dapat dirasakan ketika sedikitnya terdapat bayangan, yang dapat meningkatkan penerimaan radiasi matahari. Hasil penelitian ini menyarankan bahwa perlu meningkatkan bayangan pada jalan-jalan perkotaan guna untuk meningkatkan lingkungan termal pada kota setempat.

Berdasarkan beberapa penelitian di atas, dapat disimpulkan bahwa kondisi lingkungan termal perkotaan dipengaruhi oleh pembayangan yang tercipta dari vegetasi dan geometri perkotaan/bangunan yang merupakan bagian dari lansekap perkotaan. Pembayangan tersebut juga mempengaruhi tingkat kenyamanan termal ruang luar yang dirasakan manusia. Selain itu kondisi lingkungan termal perkotaan juga mempertimbangkan beberapa faktor seperti ukuran dan struktur pohon, musim, kondisi cuaca lokal dan zona iklim di mana daerah hijau terintegrasi (Oliveira dkk, 2011). Jadi vegetasi yang merupakan bagian lansekap ruang kota tersebut, dapat sebagai suatu alat kontrol bagi kondisi iklim mikro kota itu sendiri. Di samping itu juga dipengaruhi oleh karakteristik dari komposisi dan konfigurasi lansekap ruang kota berupa geometri perkotaan dan jalan (*urban and street geometry*), yaitu berupa perbandingan tinggi bangunan dengan lebar jalan, orientasi bangunan dan jalan, *SVF*, dan lain-lain.

Jika dikaitkan dengan fenomena UHI berupa peningkatan jumlah bangunan tinggi sehingga membentuk jalur-jalur jalan sempit yang dapat memerangkap udara panas dan menghambat aliran udara (*geometry effect*) yang dapat meningkatkan temperatur udara (Jusuf dkk, 2007). Tentunya hal ini berbeda dengan penelitian-penelitian yang menyatakan bahwa sebuah bangunan/geometri perkotaan merupakan salah satu yang dapat menghasilkan pembayangan. Di mana pembayangan tersebut merupakan salah satu unsur yang dapat meningkatkan kenyamanan termal ruang luar pada lingkungan termal perkotaan dengan memberikan efek pendinginan (menurunkan temperatur udara). Hal ini menjadi menarik untuk ditelusuri lebih lanjut, di mana pembayangan merupakan bagian dari komposisi dan konfigurasi lansekap ruang kota.

Indonesia memiliki iklim tropis lembab dan berada di daerah khatulistiwa yang merupakan daerah yang paling banyak menerima radiasi matahari. Dengan demikian kondisi perkotaan di iklim tropis lembab perlu dikontrol untuk mendapatkan keseimbangan lingkungan termal perkotaan sehingga terciptanya kenyamanan termal ruang luar yang baik. Pengontrolan itu dengan cara memodifikasi unsur-unsur lansekap ruang kota seperti vegetasi/pohon dan bangunan yang dapat mereduksi, penetrasi, dan lain-lain dari pancaran radiasi matahari, sehingga dapat menghasilkan bayangan yang terbentuk dari pepohonan



dan geometri perkotaan. Bayangan dapat memberikan dampak terjadinya varian temperatur udara yang berbeda-beda baik di lingkungan luar maupun di dalam bangunan. Terjadinya varian temperatur udara (penurunan dan peningkatan temperatur) tersebut tergantung dari komposisi dan konfigurasi lansekap ruang kotanya.

### **1.1.3 Kondisi Lingkungan Termal dan Lansekap Perkotaan di Kota Surabaya**

Menurut Branch (1996); Stewart & Oke (2012) pengertian perkotaan dan kota dapat disimpulkan bahwa perkotaan mencakup suatu kawasan yang lebih luas sebagai tempat permukiman yang memiliki ciri atau karakteristik seperti area terbangun dengan struktur dan jalan-jalan dengan kepadatan tertentu. Dimana kawasan perkotaan tersebut meliputi sebuah kota yang juga dipengaruhi oleh batas administrasi yang membedakan dengan kota atau pinggiran kota lainnya, yang ditandai secara fisik sebagai sebuah kluster tempat tinggal. Berdasarkan penjelasan di atas, penelitian ini mencakup sebuah kawasan perkotaan dengan mengambil lingkup yang lebih kecil yaitu kota Surabaya, dengan mengambil konteks ruang luar berupa lansekap khususnya lansekap ruang kota Surabaya.

Ruang terbuka hijau di tengah-tengah ekosistem perkotaan juga berfungsi untuk meningkatkan kualitas lansekap kota. Ruang terbuka hijau yang ideal adalah 30% dari luas wilayah (UU No.26 tahun 2007, pasal 29 ayat 2). Hampir di semua kota besar di Indonesia, ruang terbuka hijau saat ini baru mencapai 10% dari luas kota (Hakim, 2011). Ruang terbuka hijau ada yang bersifat publik dan privat. Ruang terbuka hijau privat, adalah RTH milik institusi tertentu atau orang perseorangan yang pemanfaatannya untuk kalangan terbatas antara lain berupa kebun atau halaman rumah/gedung milik masyarakat/swasta yang ditanami tumbuhan dengan minimum luasan 10%. Ruang terbuka hijau publik, adalah RTH yang dimiliki dan dikelola oleh pemerintah daerah kota/kabupaten yang digunakan untuk kepentingan masyarakat secara umum dengan luasan minimum 20%.

Menurut pendapat Tursilowati (2007) meningkatnya lahan terbangun dan kurangnya kawasan vegetasi menjadi salah satu faktor penyebab meluasnya *UHI*.

Daerah penyebaran *UHI* terletak di pusat kota Bandung (2001), Semarang (2002) dan Surabaya (2002) semakin melebar dibandingkan dengan tahun 1994. Hal ini dipengaruhi adanya tren pemanasan yang makin tinggi yang disebabkan oleh ulah manusia yang disebut sebagai panas antropogenik.

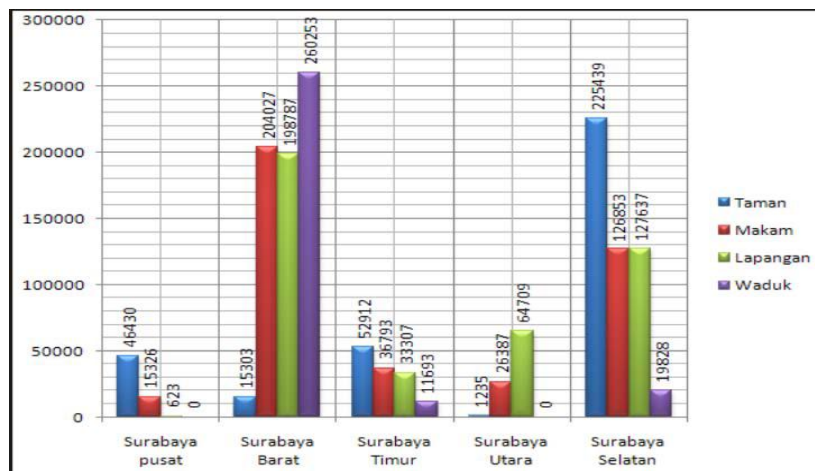
Dwiyanto (2009) juga menjelaskan beberapa hal mengenai ruang terbuka hijau. Penurunan kualitas ruang terbuka publik, terutama ruang terbuka hijau (RTH) pada 30 tahun terakhir sangat signifikan. Di kota-kota besar seperti Jakarta, Surabaya, Medan dan Bandung, luasan RTH telah berkurang dari 35% pada awal tahun 1970an menjadi kurang dari 10% pada saat ini. RTH yang ada sebagian besar telah dikonversi menjadi infrastruktur perkotaan seperti jaringan jalan, gedung-gedung perkantoran, pusat perbelanjaan, dan kawasan permukiman baru. Jakarta dengan luas RTH sekitar 9 %, saat memiliki rasio RTH per kapita sekitar 7,08 m<sup>2</sup>, relatif masih lebih rendah dari kota-kota lain di dunia.

Khususnya untuk kasus kota Surabaya, dalam satu dasawarsa terakhir ini penampilan fisik kota Surabaya berkembang dengan cepat. Di antara bangunan superblok dan gedung-gedung bertingkat tinggi, berdiri taman-taman yang asri dan hijau. Ini disebabkan karena beberapa tahun terakhir ini Pemerintah kota dengan serius membenahi taman-taman kota dan menjadikannya untuk dapat dikunjungi masyarakat luas secara gratis (<http://surabayaraya.blogspot.com>, 2010).

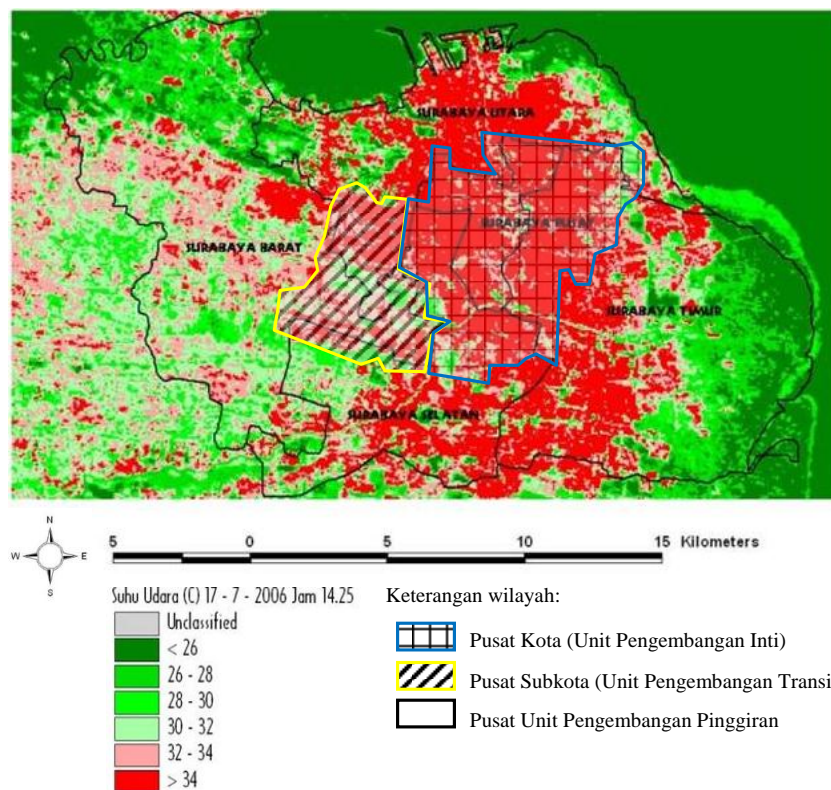
Dari data ruang terbuka hijau saat ini baru mencapai 10%, kota Surabaya dapat mewakili kota yang memiliki ruang terbuka hijau yang dapat meningkatkan kualitas lansekap ruang kota. Hal ini diperkuat oleh Arsa dkk (2010) yang mendeskripsikan jumlah luasan dari RTH di kota Surabaya (Gambar 1.2). Di samping itu, kota Surabaya merupakan salah satu kota yang berada di daerah tropis lembab.

Berdasarkan data sebaran ruang terbuka hijau tersebut, secara tidak langsung dapat diidentifikasi komposisi dan konfigurasi lansekap ruang kota Surabaya dari zona penghijauan. Demikian juga untuk lahan terbangun, seperti yang diungkapkan oleh Tursilowati (2007) mengalami peningkatan perubahan lahan terbangun dari tahun 1994-2002. Variasi lansekap ruang kota tersebut dapat menunjukkan perubahan temperatur udara yang berbeda-beda, hal ini ada

hubungannya dengan elemen-elemen pembentuk lansekap ruang kota yang dapat mempengaruhi iklim mikro kota setempat. Salah satu hasil penelitian yang menunjukkan varian temperatur udara yang berbeda-beda di kota Surabaya (Gambar 1.3).



Gambar 1.2 Jumlah Luasan tiap Jenis RTH pada tiap Wilayah Unit Pengembangan (Arsa dkk, 2010)



Gambar 1.3 Temperatur Udara Kota Surabaya Tahun 2006 (Diadaptasi dari Antaryama dkk, 2010)

Gambar 1.3 menunjukkan terdapatnya perbedaan temperatur udara di pusat kota (unit pengembangan inti) dengan daerah unit pengembangan pinggiran kota. Di pusat kota terlihat memiliki temperatur udara yang tinggi dibandingkan di daerah pinggiran kota. Perbedaan ini disebabkan karena adanya perbedaan tata guna lahan (*land use*) di setiap wilayah kota. Dipusat kota memiliki banyak bangunan dan pepohonan, yang dilihat dari sisi pembayangan, tentunya bangunan dan pepohonan tersebut memiliki pengaruh dalam pembentukan bayangan pada permukaan di bawahnya. Secara teoritis (dari beberapa hasil penelitian yang telah disebutkan sebelumnya), bayangan dapat memberikan efek pendinginan untuk kawasan tersebut. Tetapi, pada kenyataannya tidak demikian. Kenyataannya pasti terjadi peningkatan temperatur udara di pusat kota (terlihat pada Gambar 1.3). Jika dilihat dari sisi termal, peningkatan temperatur udara kota tersebut juga dipengaruhi oleh ketidakteraturan karakteristik fisik dari permukaan yang ada di pusat kota berupa komposisi dan konfigurasi lansekap ruang kota.

Karakteristik fisik tersebut mencakup rasio luas bangunan, kepadatan bangunan, batas tinggi bangunan, material penutup lahan (keras/*hardscape* dan lunak/*softscape*), penanaman pohon, kondisi kepadatan arus lalu lintas dan lain-lain. Hal ini yang dapat mempengaruhi kondisi termal suatu perkotaan. Sebagaimana yang ada di dalam teori bahwa temperatur udara permukaan akan panas ketika energi radiasi bertambah dan temperatur udara permukaan akan dingin pada saat energi radiasi berkurang.

Fenomena yang terjadi di kota Surabaya ini memperkuat argumentasi penelitian ini yang telah diuraikan pada subbab sebelumnya yang menyatakan bahwa komposisi dan konfigurasi lansekap yang terdiri dari penutup lahan buatan dan alami dapat memberikan peran yang berbeda terhadap lingkungan termal perkotaan. Lingkungan termal perkotaan tersebut dihasilkan oleh ketersediaan aliran angin, pembayangan dan penyerap panas yang dapat meningkatkan dan menurunkan temperatur udara. Hal ini menunjukkan bahwa pembayangan saja tidak cukup memberikan dampak positif terhadap sistem lingkungan termal perkotaan. Selain itu perlu juga dilihat dari sisi termal yang dapat memberikan dampak positif (penurunan temperatur) dan negatif (peningkatan temperatur)

dipengaruhi oleh karakteristik yang membangun suatu kota berupa komposisi dan konfigurasi lansekap ruang kota.

Berdasarkan hasil penelitian sebelumnya, hal ini menjadi menarik untuk mengkaji secara menyeluruh antara komposisi, konfigurasi dan pembayangan yang dihasilkan oleh lansekap perkotaan untuk melihat pengaruhnya terhadap sistem lingkungan termal perkotaan. Padahal dilihat dari kondisi yang terjadi di lapangan, kedua faktor tersebut baik pembayangan maupun komposisi dan konfigurasi lansekap ruang kota tidak secara terpisah mempengaruhi sistem lingkungan termal perkotaan. Dengan demikian, maka fokus penelitian ini adalah menganalisa dan mengkaji seberapa besar pengaruh komposisi dan konfigurasi lansekap ruang kota dan pembayangan yang dihasilkan oleh komposisi dan konfigurasi lansekap ruang kota pada sistem lingkungan termal perkotaan.

## **1.2 Perumusan Masalah**

Komposisi dan konfigurasi lansekap ruang kota dapat mempengaruhi kondisi lingkungan termal perkotaan. Posisi matahari dan komposisi serta konfigurasi lansekap ruang kota, seperti pepohonan, bangunan/geometri perkotaan dan jalan memiliki pengaruh dalam pembentukan bayangan pada permukaan di bawahnya. Pembayangan yang dihasilkan oleh komposisi dan konfigurasi lansekap ruang kota tersebut dapat mempengaruhi sistem lingkungan termal perkotaan dengan memberikan efek pendinginan perkotaan. Di samping komposisi dan konfigurasi lansekap ruang kota seperti pepohonan dan bangunan dapat memberikan efek pendinginan, juga dapat memberikan efek sebaliknya berupa peningkatan temperatur udara melalui penyerapan dan pemantulan panas serta menghalangi arah angin. Efek yang dihasilkan oleh penutup lahan tersebut tidak terlepas dari penataan atau pengaturan penutup lahan tersebut yang merupakan bagian dari konfigurasi lansekap.

Dengan demikian, komposisi dan konfigurasi lansekap (penutup lahan buatan dan alami) yang optimal akan mempengaruhi lingkungan termal perkotaan. Lingkungan termal perkotaan yang nyaman dipengaruhi oleh ketersediaan angin, pembayangan dan penyerap panas. Dimana kemampuan komposisi dan konfigurasi lansekap yang berorientasi dapat menghasilkan

tersedianya angin dan pembayangan dapat menghasilkan lingkungan termal perkotaan yang nyaman dan toleransi. Hal ini menjadi menarik untuk dikaji lebih lanjut dengan fokus penelitian menganalisa secara menyeluruh bagaimana pengaruh antara komposisi, konfigurasi dan pembayangan yang dihasilkan oleh lansekap perkotaan terhadap sistem lingkungan termal perkotaan khususnya untuk daerah tropis lembab. Seperti diketahui intensitas radiasi matahari pada daerah tropis cukup tinggi sepanjang tahun dan kecepatan angin yang relatif kecil, sehingga perlu dipertimbangkan untuk meminimalisir atau mengontrol sinar matahari dan meningkatkan perolehan kecepatan angin melalui sebuah tipe lansekap ruang kota.

Baik pembayangan maupun komposisi dan konfigurasi lansekap ruang kota tidak secara terpisah mempengaruhi sistem termal perkotaan sebagaimana diindikasikan dari penelitian-penelitian sebelumnya dan teori. Oke (1977), Markus & Morris (1980), Krishan dkk (2001) dan Zhao dkk (2011) bahwa kondisi termal perkotaan dihasilkan oleh komponen elemen iklim perkotaan, lingkungan binaan dan alami (*urban shelter*), bentuk perpindahan panas yang terjadi dan komponen lainnya (manusia, aktifitas dan polusi) di perkotaan. Brown dan Gillespie (1995); Brown (2010;2011) mengemukakan bahwa desain lansekap dapat memodifikasi iklim mikro melalui elemen iklim radiasi matahari dan kecepatan angin. Shashua-Bar dkk (2003); Emmanuel dkk (2007) menjelaskan hubungan pembayangan terhadap geometri perkotaan dan orientasi jalan, dengan hasil penelitian bahwa pembayangan yang terbentuk di geometri perkotaan itu sebagai pendinginan pasif (*passive cooling*). Dari uraian ini dapat mengembangkan teori tersebut dengan pernyataan bahwa pembentukan sistem lingkungan termal perkotaan dipengaruhi baik oleh komposisi dan konfigurasi lansekap ruang kota maupun oleh pembayangan yang terbentuk dari komposisi dan konfigurasi lansekap ruang kota tersebut.

Berdasarkan hal di atas, pertanyaan penelitian yang dapat diajukan adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana karakteristik komposisi dan konfigurasi lansekap ruang kota, serta karakteristik pembayangan yang dihasilkan oleh komposisi dan konfigurasi lansekap ruang kota tersebut?

2. Bagaimana pengaruh komposisi dan konfigurasi lansekap ruang kota serta pembayangan yang dihasilkan oleh komposisi dan konfigurasi lansekap ruang kota terhadap kondisi lingkungan termal perkotaan di daerah tropis lembab?
3. Bagaimana model sistem lingkungan termal perkotaan yang dipengaruhi oleh komposisi dan konfigurasi lansekap ruang kota serta pembayangan yang dihasilkan oleh komposisi dan konfigurasi lansekap ruang kota tersebut untuk memperoleh standar kenyamanan termal ruang luar yang optimal?

Dimana model yang dirumuskan merupakan deskripsi-deskripsi dari berbagai variabel dan menggabungkan pernyataan-pernyataan tentang hubungan-hubungan dinamis yang telah diduga di antara variabel-variabel. Dalam masing-masing kasus, bagaimanapun, model memberikan abstraksi dari berbagai kejadian di dunia nyata; mereka dapat digunakan untuk memprediksi kejadian-kejadian di masa depan terkait parameter tertentu (Moore and Marans, 1997).

### **1.3 Tujuan Penelitian**

Tujuan penelitian ini adalah:

1. Mengidentifikasi dan menjelaskan karakteristik dari komposisi dan konfigurasi lansekap ruang kota serta pembayangan yang dihasilkan dalam sistem lingkungan termal perkotaan pada daerah iklim tropis lembab.
2. Menjelaskan hubungan antara komposisi dan konfigurasi lansekap ruang kota serta pembayangan yang dihasilkan oleh komposisi dan konfigurasi lansekap ruang kota pada kondisi lingkungan termal perkotaan di daerah iklim tropis lembab.
3. Merumuskan model sistem lingkungan termal perkotaan pada daerah iklim tropis lembab yang didasarkan pada komposisi dan konfigurasi lansekap ruang kota serta pembayangan yang dihasilkan oleh komposisi dan konfigurasi lansekap ruang kota untuk memperoleh standar kenyamanan termal ruang luar yang optimal.

### **1.4 Manfaat Penelitian**

Penelitian yang dilakukan diharapkan dapat memberi manfaat:

1. Pengembangan Teori

Dalam bidang arsitektur lingkungan, sistem lingkungan termal perkotaan pada intinya terdiri dari komponen elemen iklim perkotaan, lingkungan binaan dan alami (*urban shelter*), bentuk perpindahan panas yang terjadi dan komponen lainnya seperti manusia, aktivitas dan polusi di perkotaan. Keempat komponen tersebut saling mempengaruhi terhadap komponen lainnya.

Khususnya pada penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi baru berupa model sistem lingkungan termal perkotaan yang dipengaruhi oleh komposisi dan konfigurasi lansekap ruang kota serta pembayangan yang dihasilkan oleh komposisi dan konfigurasi lansekap ruang kota tersebut pada daerah iklim tropis lembab.

## 2. Implementasi

Perencanaan dan perancangan kota pada umumnya hanya mempertimbangkan rasio luas bangunan, kepadatan bangunan, batas tinggi bangunan, rasio ruang hijau, dan lain-lain dan jarang sekali mempertimbangkan pengetahuan tentang iklim. Oleh karena itu, hasil penelitian ini dapat digunakan oleh para praktisi pada bidang perkotaan dan pemerintah kota dalam merancang lansekap ruang kota yang selain mempertimbangkan fungsi penggunaan lahan, juga mempertimbangkan iklim sehingga tercipta kenyamanan termal ruang luar, khususnya dengan mempertimbangkan komposisi dan konfigurasi lansekap ruang kota yang sesuai untuk daerah tropis lembab, serta pembayangan dalam merancang ruang kota yang dapat memberikan kenyamanan termal bagi penggunanya.

### 1.5 Batasan Penelitian

Batasan dalam penelitian ini ditentukan berdasarkan wilayah dan teori, sebagai berikut:

1. Batasan wilayah penelitian difokuskan pada lansekap ruang kota berdasarkan skala iklim meso dan mikro berupa bagian wilayah kota, yaitu pada radius jarak 1-10 km. Penelitian ini dilakukan di Kota Surabaya, khususnya Surabaya bagian Barat, karena wilayah ini memiliki lansekap ruang kota yang beragam dibandingkan bagian wilayah lainnya



2. Batasan teori difokuskan pada konsep sistem lingkungan termal perkotaan dengan mempertimbangkan elemen iklim (temperatur udara, kelembaban udara, kecepatan angin dan intensitas radiasi matahari), komposisi dan konfigurasi lansekap ruang kota serta pembayangan yang terbentuk dari komposisi dan konfigurasi lansekap ruang kota tersebut.

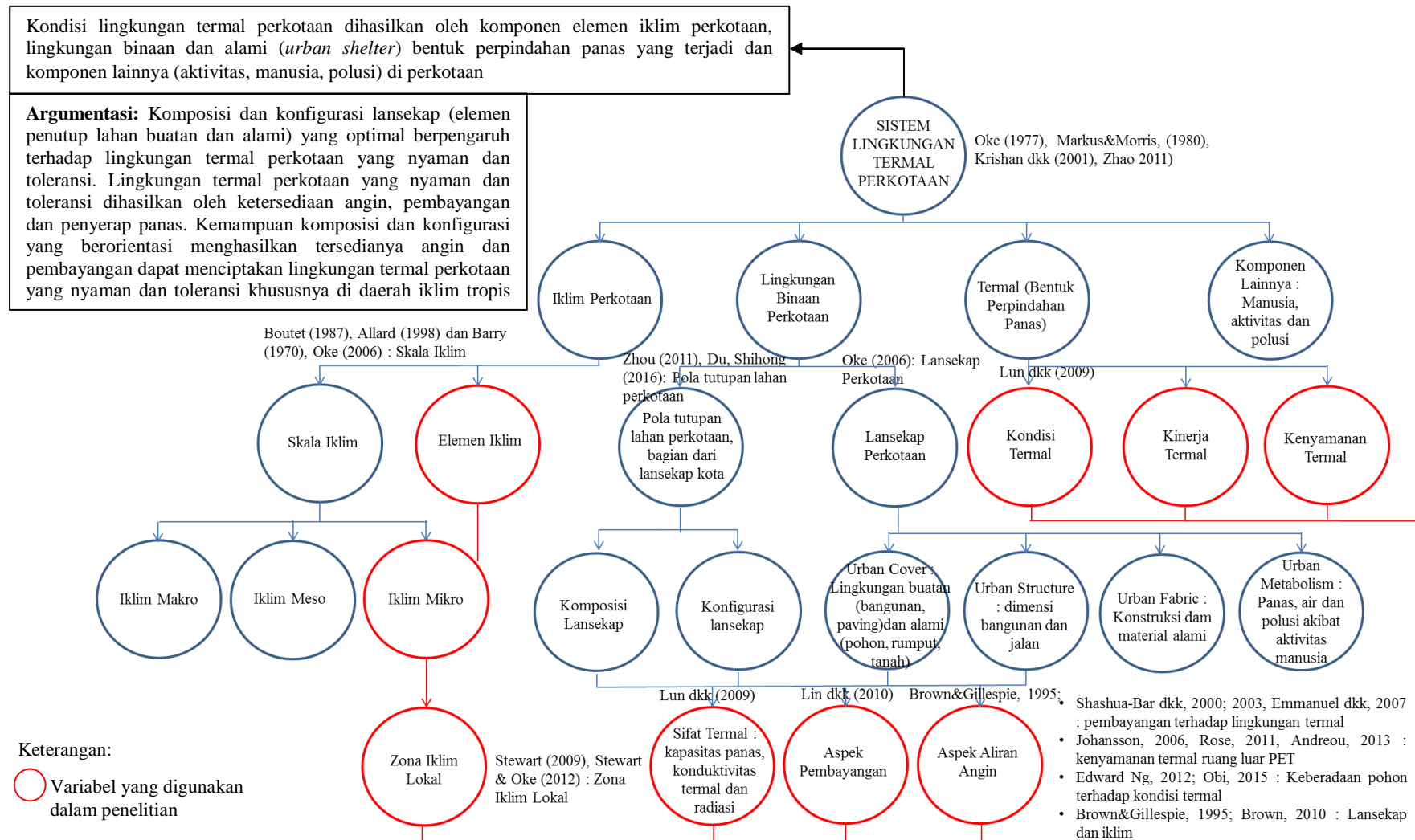
## **1.6 Orisinalitas dan Kontribusi Penelitian**

Penelitian ini difokuskan pada kajian tentang pengaruh komposisi dan konfigurasi lansekap ruang kota serta pembayangan yang dihasilkan oleh komposisi dan konfigurasi lansekap ruang kota tersebut terhadap sistem lingkungan termal perkotaan. Fokus penelitian ini dikembangkan berdasarkan hasil kajian dari peneliti-peneliti sebelumnya, yang menitikberatkan pada pengaruh salah satu faktor saja. Dalam penelitian ini sistem lingkungan termal perkotaan akan dilihat secara menyeluruh. Gambar 1.4 menunjukkan diagram *family tree* sebagai dasar pengetahuan dalam kontribusi penelitian ini.

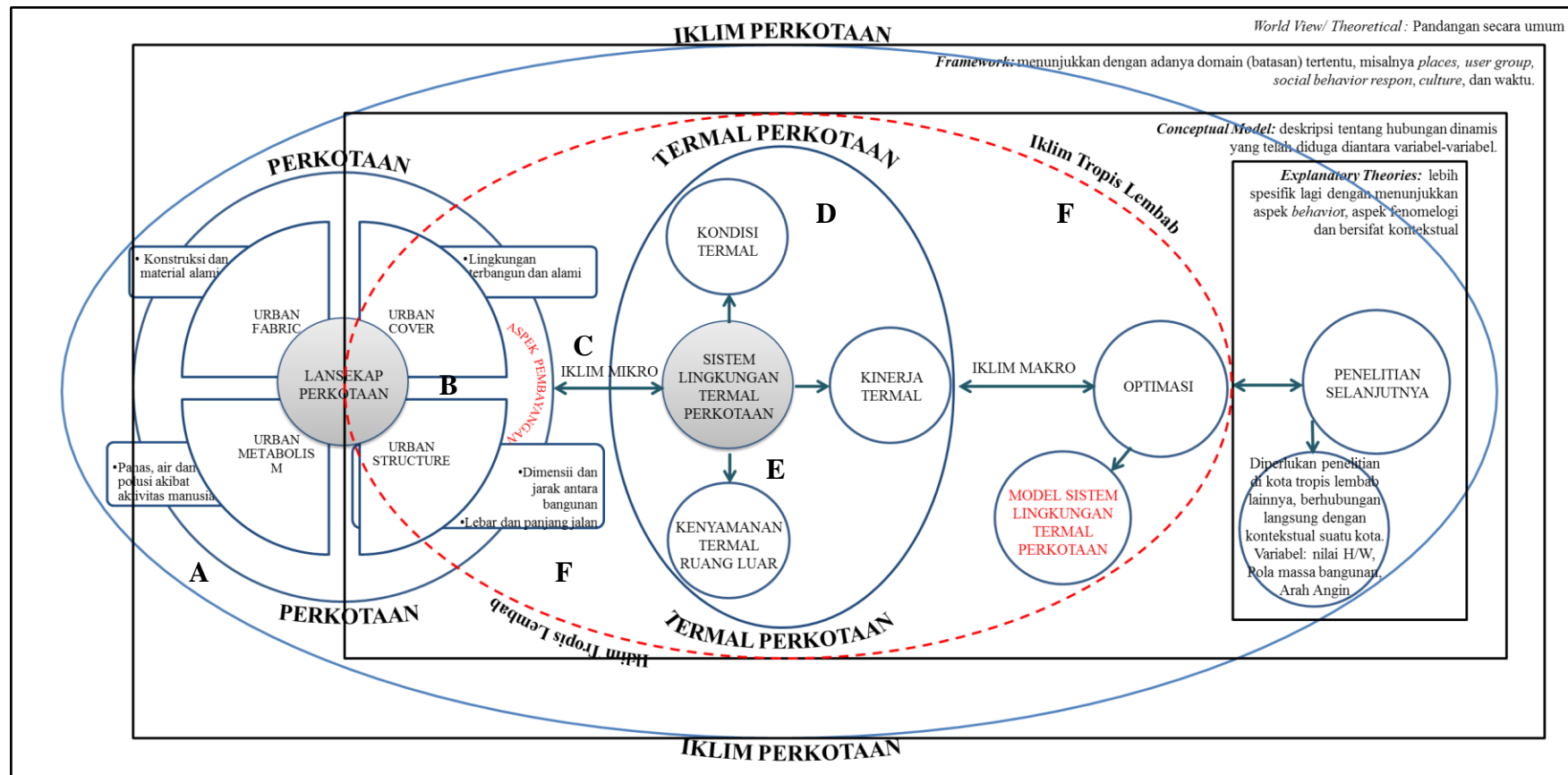
Berdasarkan teori dan kajian sebelumnya sistem lingkungan termal perkotaan telah dijelaskan oleh Oke (1977), Markus & Morris (1980), Krishan dkk (2001) dan Zhao (2011). Mereka menyatakan bahwa sistem lingkungan termal perkotaan pada intinya terdiri dari komponen elemen iklim perkotaan, lingkungan binaan dan alami (*urban shelter*), bentuk perpindahan panas yang terjadi dan komponen lainnya seperti manusia, aktivitas, dan polusi di perkotaan.

Beberapa penelitian yang mendeskripsikan pengaruh lansekap ruang kota, seperti Li dkk (2011) menyelidiki pengaruh struktur lansekap terhadap *UHI* di wilayah metropolitan Shanghai Cina, berdasarkan pada analisis temperatur permukaan tanah, normalisasi perbedaan indeks vegetasi, fraksi vegetasi, dan area permukaan keras. Selain itu Liu dkk (2008), Weng dkk (2007) memaparkan adanya hubungan antara struktur spasial dari pola termal perkotaan dan karakteristik dari permukaan perkotaan.

Selanjutnya penelitian tentang pengaruh pembayangan, antara lain: Shashua-Bar dkk (2000) mendeskripsikan suatu bayangan memiliki peran dalam



Gambar 1.4 Diagram *FamilyTree* sebagai Dasar Pengetahuan dalam Kontribusi Penelitian.



Keterangan :

- |   |   |
|---|---|
| <p><b>A.</b> Oke (2006), Zhou (2011), Du, Shihong (2016)</p> <p><b>B.</b> Shashua-Bar dkk (2000; 2003), Emmanuel dkk (2007)</p> <p><b>C.</b> Oke (1984), Brown&amp;Gillespie (1995), Brown (2010), Stewart (2009)</p> | <p><b>D.</b> Oke (1977), Markus &amp; Morris (1980), Krishan et al (2001) dan Zhao (2011); Voogt &amp; Oke (2003)</p> <p><b>E.</b> Johansson (2006; 2014), Rose (2011), Andreou (2013)</p> <p><b>F.</b> Posisi Penelitian</p> |
|---|---|

Gambar 1.5 Posisi Penelitian terhadap Studi Sistem Termal Perkotaan

menghalangi radiasi matahari yang fokus terhadap karakteristik pohon. Pada penelitian selanjutnya Shashua-Bar dkk (2003) menjelaskan hubungan pembayangan terhadap geometri perkotaan dan orientasi jalan, dengan hasil penelitian bahwa pembayangan yang terbentuk di geometri perkotaan itu sebagai pendinginan pasif (*passive cooling*). Hal demikian juga dilakukan oleh Bourbia dkk (2004), Lin dkk (2010), mendeskripsikan efek pembayangan dan tinjauan kenyamanan termal. Namun, Jusuf dkk (2007) menjelaskan bahwa meningkatnya jumlah bangunan tinggi sehingga membentuk jalur-jalur jalan sempit memerangkap udara panas dan menghambat aliran udara (*geometry effect*) yang dapat meningkatkan temperatur udara dan mengarah pada fenomena *UHI*. Dari uraian di atas, terdapatnya perbedaan peran dari bangunan terhadap lingkungan termal yaitu sebagai penyerap dan pemantul panas serta sebagai pembentuk pembayangan.

Dari diagram *family tree* dengan menguraikan dari teori utama tentang sistem lingkungan termal perkotaan dan didukung teori lainnya tentang lansekap dan pembayangan. Elemen penutup lahan buatan dan alami yang bagian dari komposisi dan konfigurasi lansekap akan memberikan pengaruh yang berbeda terhadap lingkungan termal perkotaan inilah yang menjadi kebaruan dari penelitian ini. Adapun argumentasi penelitian yang diajukan yaitu Komposisi dan konfigurasi lansekap (elemen penutup lahan buatan dan alami) yang optimal berpengaruh terhadap lingkungan termal perkotaan yang nyaman dan toleransi. Lingkungan termal perkotaan yang nyaman dan toleransi dihasilkan oleh ketersediaan angin, pembayangan dan penyerap panas. Kemampuan komposisi dan konfigurasi, yang berorientasi menghasilkan tersedianya angin dan pembayangan, dapat menciptakan lingkungan termal perkotaan yang nyaman dan toleransi khususnya di daerah iklim tropis (Gambar 1.5).

**Halaman ini sengaja dikosongkan**

## **BAB 2**

### **KAJIAN PUSTAKA**

#### **2.1 Lingkungan Termal Perkotaan**

Kondisi lingkungan termal perkotaan dapat digambarkan sebagai perilaku termal yang terjadi akibat pengaruh karakteristik fisik suatu perkotaan dengan kondisi iklim suatu perkotaan tersebut (Oke, 1977; Markus & Morris, 1980, Krishan, 2001, Zhao dkk (2011). Kondisi iklim ini tidak terlepas dari skala iklim yang terbentuk, misal skala iklim makro untuk suatu negara, skala iklim meso untuk suatu kota, dan skala iklim mikro yang terbentuk oleh fitur-fitur lansekap yang ada di perkotaan. Karakteristik fisik dari fitur-fitur lansekap tersebut seperti penutup lahan, jarak dan dimensi bangunan, jalan dan pohon, serta faktir lainnya seperti kegiatan aktifitas manusia dan kondisi arus lalu lintas kendaraan.

Perilaku termal akibat dari hubungan karakteristik fisik perkotaan dan kondisi iklim tersebut dapat menyebabkan fenomena-fenomena seperti peningkatan temperatur udara diperkotaan akibat meningkatnya jumlah penutup lahan buatan seperti bangunan di pusat kota, yang dikenal sebagai fenomena *Urban Heat Island* (UHI). Selain itu dapat juga dalam menurunkan temperatur udara yang dipengaruhi oleh keberadaan zona penghijauan di suatu perkotaan. Hal ini lah yang mencakup kondisi lingkungan termal perkotaan.

Berdasarkan Branch (1996), UU penataan ruang No.26 (2007) Stewart & Oke (2012) pengertian perkotaan dan kota dapat disimpulkan bahwa perkotaan mencakup suatu kawasan yang lebih luas sebagai tempat permukiman yang memiliki ciri atau karakteristik seperti area terbangun dengan struktur dan jalan-jalan dengan kepadatan tertentu. Dimana kawasan perkotaan tersebut meliputi sebuah kota yang juga dipengaruhi oleh batas administrasi yang membedakan dengan kota atau pinggiran kota lainnya, yang ditandai secara fisik sebagai sebuah kluster tempat tinggal.

### 2.1.1 Skala Iklim

Iklim mikro dapat dijelaskan berdasarkan skala iklim yang ada pada suatu tempat. Ada beberapa pendapat mengenai skala iklim, yaitu sebagai berikut:

#### 1. Skala iklim menurut Boutet (1987)

Skala iklim menurut Boutet (1987) terdapat 3 kelompok skala iklim, yaitu sebagai berikut:

Tabel 2.1 Klasifikasi Skala Iklim (Boutet 1987)

Tingkatan Iklim	Skala	Contoh wilayah
Iklim makro ( <i>macro-climate</i> )	Sangat Besar	Benua, negara
Iklim Meso ( <i>meso-climate</i> )	Sedang	Negara bagian, kota
Iklim mikro ( <i>micro-climate</i> )	Kecil	Area kota ( <i>city block</i> ), Taman, Daerah pinggir laut
Iklim-mikro	Sangat kecil	Halaman; lansekap di sekitar bangunan, pedestrian

Sumber : Boutet, 1987

#### 2. Skala iklim menurut Allard (1998)

Klasifikasi Skala iklim menurut Allard (1998) terbagi dalam 3 tingkatan skala iklim, yaitu sebagai berikut:

Tabel 2.2 Klasifikasi Skala Iklim (Allard 1998)

Tingkatan Iklim	Skala
Global	Radius $\pm 1000$ km
Regional	Radius $\pm 100$ km
Lokal	Radius $\pm 10$ km

Sumber : Allard, 1998

#### 3. Skala iklim menurut Barry dalam Markus & Morris (1980)

Iklim dapat dilihat dalam berbagai skala ruang dan waktu, dari yang kecil seperti daun pada tanaman sampai dengan siklus iklim utama. Oleh karena itu, Barry, 1970 membuat klasifikasi sistem spasial dari iklim, sebagai berikut:

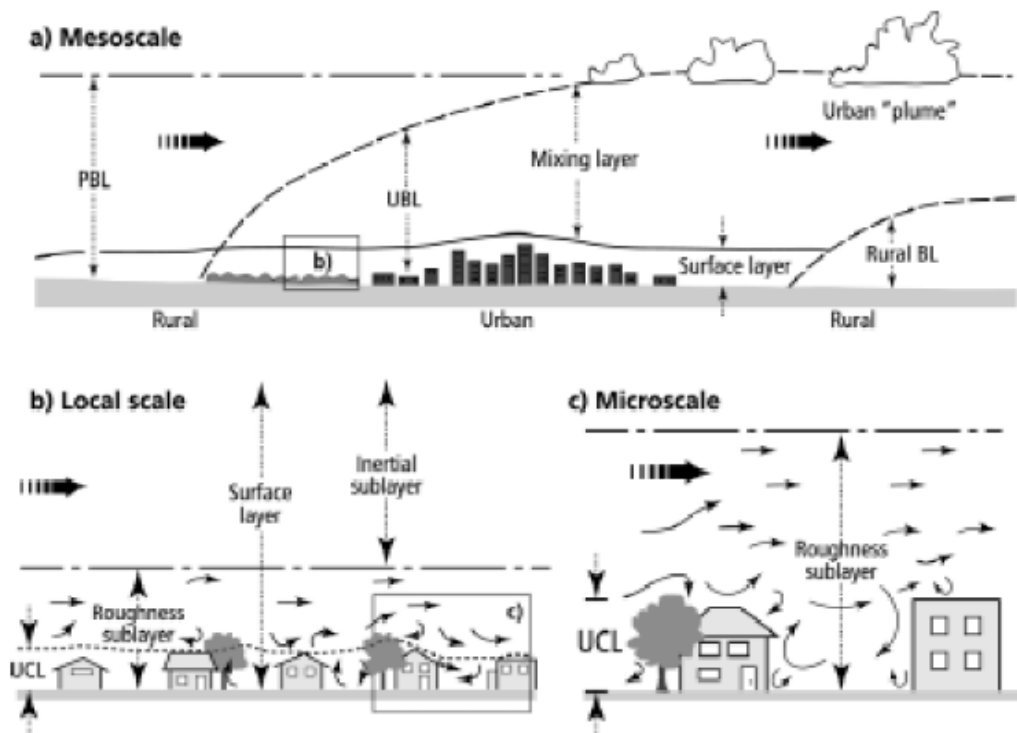
Tabel 2.3 Klasifikasi Sistem Spasial Iklim (Barry 1970)

Sistem	Perkiraan Karakteristik Dimensi		
	Skala Horizontal (Km)	Skala Vertikal (Km)	Skala Waktu
Global wind belts	$2 \times 10^3$	3 – 10	1 – 6 Bulan
Regional macroclimate	$5 \times 10^2 - 10^3$	1 – 10	1 – 6 Bulan
Local (topo) climate	1 – 10	$10^{-2} - 10^{-1}$	1 – 24 Jam
Microclimate	$10^{-1}$	$10^{-2}$	24 Jam

Sumber : Barry dalam Markus & Morris, 1980

#### 4. Skala iklim menurut Oke (1997)

Oke (1997) membagi skala iklim menjadi 3 (tiga), yaitu mesoscale, local scale dan microscale, untuk memudahkan membedakan skala iklim tersebut Oke menggambarkan skala iklim tersebut sebagai berikut: (Gambar 2.2)



Gambar 2.1 Skema Skala Iklim dan Batas Vertikal pada Daerah Perkotaan.  
*PBL* (planetary boundary layer), *UBL* (urban boundary layer), *UCL* (urban canopy layer) (Oke, 2006)

Berdasarkan pembagian tingkatan skala iklim di atas, para peneliti menggunakan istilah tingkatan skala yang berbeda. Boutet (1987) menggunakan



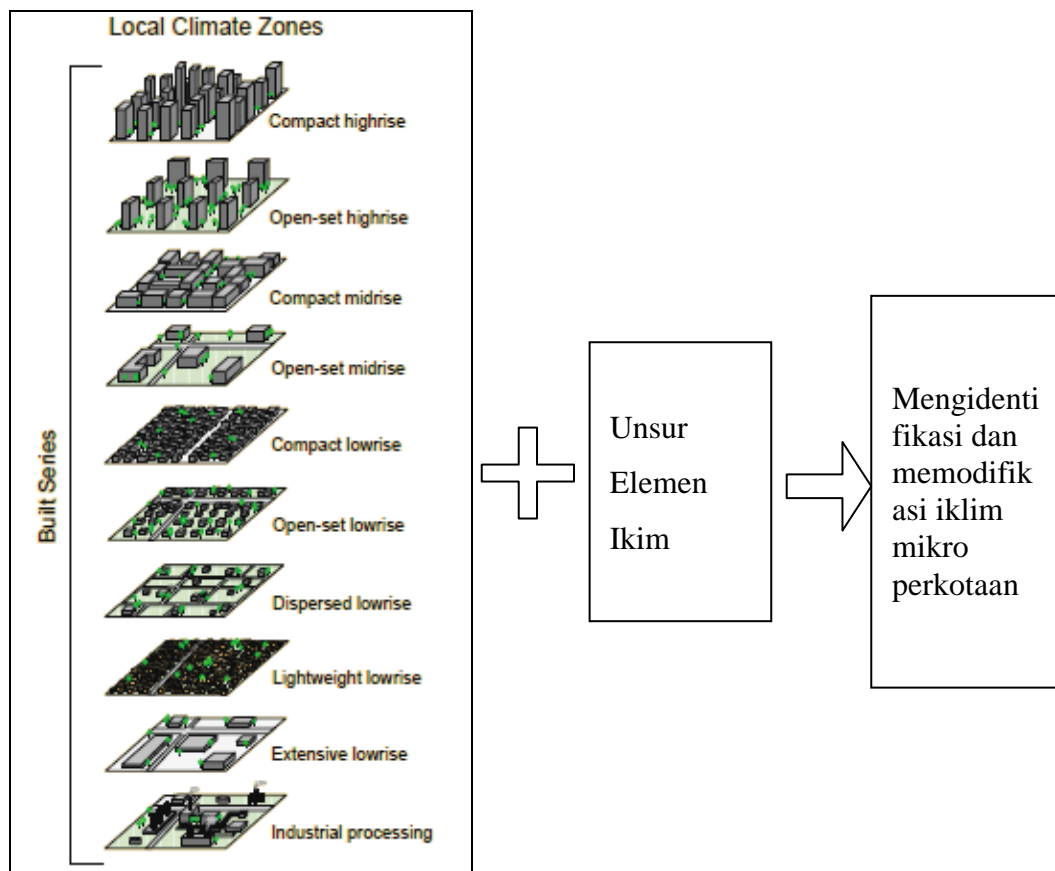
istilah makro, meso dan mikro dengan menyebutkan skala iklimnya berdasarkan contoh wilayah. Berbeda dengan klasifikasi skala iklim oleh Allard (1998) dan Barry (1970), menggunakan istilah global, regional dan lokal dengan menyebutkan skalanya dengan radius jarak. Barry (1970) lebih lengkap dalam mengklasifikasikan skala iklim, yaitu selain menyebutkan dalam skala jarak horizontal dan vertikal, juga dalam skala waktu. Sementara Oke (1997) menjelaskan tingkatan skala iklim tersebut yang dapat mewakili kondisi ruang dan waktu sebuah perkotaan. Setiap permukaan perkotaan memiliki iklim tersendiri. Dapat disimpulkan dari keempat peneliti tersebut, bahwa pembagian skala iklim tersebut berdasarkan radius wilayah dengan jarak yang jelas, sehingga jelas untuk mencapai pengamatan iklim untuk sebuah perkotaan.

Menurut Oke (2006) skala iklim mikro/site dengan batas sekitar 1 km horizontal dan vertikal sampai dengan 100 m, bahkan dimensi sebenarnya cenderung sering lebih kecil dengan skala kurang dari satu meter hingga ratusan meter pada sebuah perkotaan diterjemahkan sebagai iklim lingkungan yang dapat dipengaruhi oleh pembangunan perkotaan seperti permukaan penutup lahan, ukuran dan jarak dari bangunan serta aktivitas. Di mana langsung berhubungan dengan dimensi bangunan tunggal, pohon, jalan, halaman, taman, dan lain-lain. Setiap permukaan dari objek memiliki iklim site sendiri di atasnya. Permukaan temperatur udara dapat bervariasi beberapa derajat dengan jarak yang sangat pendek bahkan milimeter dan aliran udara dapat sangat terganggu sekalipun oleh benda kecil. Iklim site ini merupakan salah satu unsur sangat penting bagi perancang bangunan. Misalnya perbedaan temperatur pada kawasan gedung dengan orientasi berbeda disebabkan adanya pengaruh dinding dan pohon-pohon dalam pola aliran angin serta lokasi pengukuran.

Adanya fenomena *UHI* ini menggerakkan para pelaku perkotaan untuk memodifikasi iklim mikro di daerah tempat tinggalnya untuk mendapatkan kenyamanan. Banyak para peneliti yang mencoba mengidentifikasi dan memodifikasi iklim mikro perkotaan. Sebagai contoh, Stewart (2009) menunjukkan bahwa skala adalah hal terpenting dalam proses klasifikasi, khususnya pengklasifikasian zona di lokasi lapangan. Semua zona di lapangan ditentukan berdasarkan skala dengan radius horizontal (meter sampai kilometer),

lapisan-batas kondisi, dan geometri permukaan (Oke, 2004). Misalnya pengukuran temperatur pada ketinggian tertentu (1-2 meter) yang diletakkan di antara gedung-gedung dan di atas lahan terbuka. Dimensi spasial dari zona iklim setempat itu fleksibel sesuai dengan kondisi pengukuran dan penyelidikan iklim tertentu pada suatu perkotaan.

Hasil dari pendekatan zona iklim lokal (*Local Climate Zone/LZC*) (Stewart, 2009) ini yang akan digunakan untuk mendefinisikan dan mengklarifikasikan tipe lansekap khususnya di daerah tropis lembab (Gambar 2.3). Selanjutnya tipe lansekap yang ada dapat menunjukkan kondisi iklim mikro perkotaan. Pembagian tipe lansekap ini akan dibahas selanjutnya pada sub bab lansekap ruang kota.

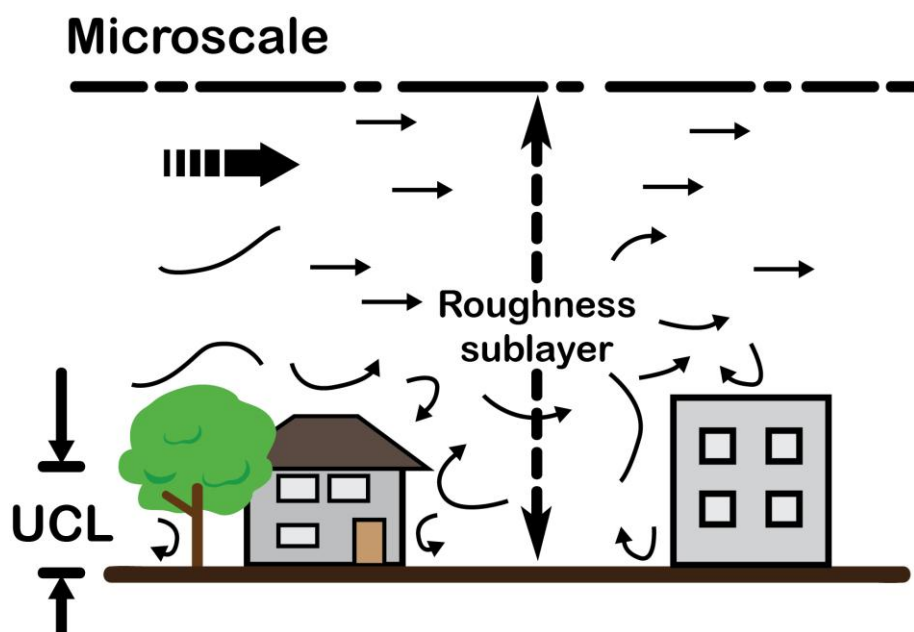


Gambar 2.2 Pendekatan Zona Iklim Lokal (*Local Climate Zone/LZC*) oleh Stewart (2009) untuk Mengidentifikasi dan Memodifikasi Iklim Mikro Perkotaan.

### 2.1.2 Iklim Mikro

Iklim merupakan kondisi umum cuaca di suatu wilayah pada waktu tertentu dalam jangka waktu yang cukup panjang, dipengaruhi oleh karakteristik dari lokasi geografis tertentu (Szokolay, 2004). Lingkungan yang terbentuk dari kondisi iklim dan geografis tersebut dapat menentukan tipe iklim dan skala iklim. Tipe iklim tropis secara umum dapat dibagi dua kategori, yaitu: daerah tropis kering dan daerah tropis lembab. Pada umumnya skala iklim terbagi tiga yaitu iklim makro, iklim meso dan iklim mikro. Pembagian skala iklim tersebut berdasarkan radius wilayah dengan jarak yang jelas, sehingga akan lebih mudah menganalisa faktor-faktor yang mempengaruhi pembentukan iklim pada suatu kawasan dalam radius tertentu.

Penelitian ini fokus menunjukkan kondisi iklim mikro di suatu lansekap perkotaan. Iklim mikro berhubungan dengan ruang terbatas, seperti ruangan dalam kota, jalan, taman dengan cakupan wilayah  $\pm 10$  km. Ini mencakup fitur-fitur lansekap seperti topografi, karakteristik tanah dan termasuk dampak dari aktivitas manusia, seperti pembangunan kota-kota yang memancarkan panas dan polusi serta pola pertanian, mulai memiliki efek yang nyata dan menyebabkan perbedaan yang signifikan dan terukur pada iklim setempat.



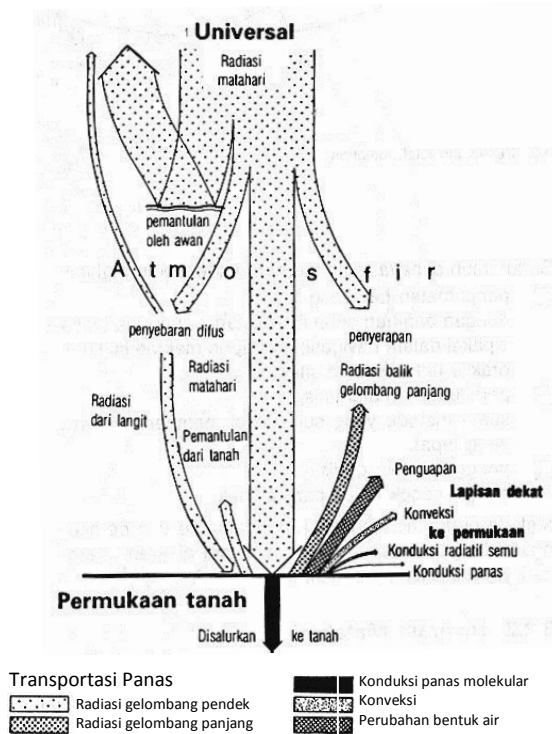
Gambar 2.3 Karakteristik Iklim Mikro (Diadaptasi dari Oke, 2006)

### 2.1.3 Elemen Iklim

Hough (1984) melihat elemen iklim pada sifat iklim perkotaan dan manfaat lingkungan luar yang dapat memberikan kontribusi untuk peningkatan dan pemanfaatan konservasi energi di kota. Elemen utama iklim adalah radiasi matahari, temperatur (suhu), kelembaban udara, angin, dan curah hujan.

#### a. Radiasi Matahari

Proses radiasi merupakan suatu proses penghantaran cahaya dan panas yang mengalir dari sebuah medium yang lebih panas ke medium yang lebih dingin. Kekuatan efektif dari radiasi matahari ditentukan oleh energi radiasi matahari, pemantulan pada permukaan bumi, berkurangnya radiasi oleh penguapan, dan arus radiasi di atmosfer (Gambar 2.4).



Gambar 2.4 Pertukaran panas pada pukul 12.00 dalam musim panas (Olgyay, 1992)

Menurut Szokolay (1987) jumlah radiasi matahari dapat diukur dengan dua cara, yaitu (1) radiasi (*irradiance*) yang biasa disebut intensitas radiasi dalam satuan ukuran  $\text{Watt/m}^2$ . (2) Iradiasi (*Irradiation*) merupakan sebuah kuantitas energi terpadu selama periode waktu yang ditentukan (jam, hari, bulan atau

tahun). Iradiasi diukur dalam satuan ukuran  $\text{Joule/m}^2$ , dengan menggunakan alat ukur seperti solarimeter, heliometer, actinometer dan pyranometer)

Daerah khatulistiwa merupakan daerah yang paling banyak menerima radiasi matahari. Hal ini merupakan salah satu ciri daerah tropis dimana waktu pagi dan senja yang semakin pendek, semakin jauh sebuah tempat dari garis khatulistiwa, semakin panjang waktu malamnya. Cahaya siang bermula dan berakhir bila matahari berada sekitar  $18^\circ$  dibawah garis horizon (Lippsmeier, 1994).

Panas yang diterima oleh suatu permukaan bumi tergantung dari lamanya suatu wilayah atau daerah terkena sinar matahari, sudut jatuh sinar matahari (yang ditentukan oleh posisi relatif matahari dan tempat pengamatan di bumi, sudut lintang geografis tempat pengamatan musim setempat (dengan bantuan diagram matahari atau *Solar Chart*), serta lama penyinaran harian.

#### b. Temperatur

Temperatur adalah ukuran energi kinetik rata-rata dari pergerakan molekul-molekul. Temperatur udara diukur dalam derajat celcius ( $^\circ\text{C}$ ) dengan menggunakan alat ukur termometer (Koenigsberger dkk, 1973). Data temperatur udara ada yang berupa data tahunan (*annual*) dan data harian (*diurnal*). Dari data tahunan dapat diketahui waktu-waktu ekstrim, yaitu pada bulan apa saja terjadinya peningkatan (maksimum) dan penurunan (minimum) temperatur. Menurut Olgyay (1992) variasi temperatur harian tergantung pada keadaan langit. Temperatur suatu kawasan dipengaruhi oleh warna, kapasitas panas, konduktivitas panas, serta banyaknya radiasi yang diterima pada material jenis penutup lahan.

#### c. Kelembaban

Kelembaban udara dapat digambarkan sebagai kelembaban absolut (*absolute humidity/AH*), yaitu banyaknya uap air yang terkandung dalam udara ( $\text{g/kg}$ ). Bagaimanapun kelembaban relative (*relative humidity/RH*) merupakan ekspresi bentuk yang jauh lebih berguna, karena memberikan indikasi langsung berupa potensi penguapan (Koenigsberger, 1973). Kelembaban udara sangat bergantung pada tinggi rendahnya temperatur udara. Semakin tinggi temperature udara, semakin tinggi pula kemampuan udara dalam menyerap air. Kelembaban diukur dalam persen (%) yang biasanya dapat diukur dengan menggunakan alat ukur hygrometer.

#### d. Angin

Menurut Boutet (1987) angin merupakan bentuk alami dari gerakan udara yang umumnya bergerak horizontal. Pergerakan udara (*air movement*) adalah perubahan posisi tanpa memperhatikan tekanan udara sebagai dampak dari kadar atau tingkat tekanan udara yang berbeda-beda. Skalanya berkisar mulai dari angin yang sepoi-sepoi sampai angin topan, yakni kekuatan angin 0 sampai 12 (Skala Beaufort). Kecepatan angin diukur dalam satuan ukuran m/s dengan menggunakan alat ukur anemometer.

Sejumlah angin lokal dapat terjadi akibat perbedaan temperatur lokal. Semakin kasar permukaan yang dilalui, semakin tebal lapisan udara yang tertinggal di atas dan menghasilkan perubahan pada arah serta kecepatan gerakan udara. Dengan demikian, bentuk topografi yang berbukit, vegetasi dan tentunya bangunan dapat menghambat atau membelokkan gerakan udara.

#### e. Curah Hujan

Hujan ialah peristiwa sampainya air dalam bentuk cair maupun padat yang dicurahkan dari atmosfer ke permukaan bumi. Curah hujan diukur dalam alat pengukur hujan dan dinyatakan dalam satuan ukuran milimeter per waktu (harian, bulanan dan tahunan). Curah hujan terbentuk oleh kondensasi atau sublimasi uap air, berupa hujan, hujan gerimis, hujan es atau hujan salju, sedangkan di permukaan bumi terbentuk embun atau embun beku. Di daerah tropis curah hujan turun pada umumnya selama musim hujan, yang di khatulistiwa terjadi dua kali setahun. Semakin mendekati garis balik, musim ini semakin pendek dan waktunya semakin dekat sampai menjadi satu musim hujan di sekitar garis balik.

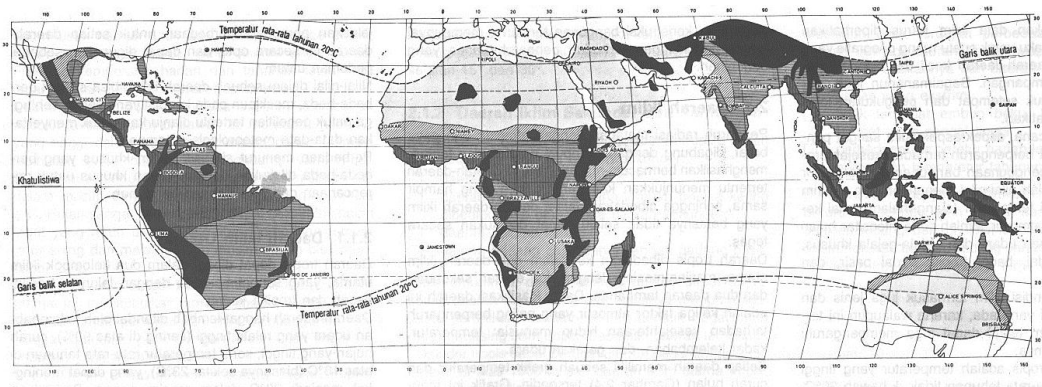
Curah hujan di daerah tropis menjadi intensif, bila awan bergerak vertikal ke ketinggian yang memiliki temperatur di bawah 0°C. Di sini terbentuk inti kondensasi dalam bentuk kristal es. Hujan tropis bisa tiba-tiba turun dengan intensitas yang sangat tinggi.

Elemen-elemen iklim di atas dapat mempengaruhi kondisi termal di suatu perkotaan dengan cara memodifikasi iklim mikro perkotaan. Semua elemen dapat dimodifikasi oleh beberapa faktor, seperti topografi, orientasi, dan ketinggian lokasi. Selain itu juga dipengaruhi oleh objek-objek yang ada di suatu

perkotaan, seperti keberadaan pohon dan bangunan yang bisa menghasilkan bayangan serta permukaan penutup lahan yang memiliki daya serap atau pantul.

#### 2.1.4 Karakteristik Iklim Tropis Lembab

Negara-negara yang berada pada kawasan iklim tropis adalah negara yang berada diantara garis Isotermis utara dan selatan dengan garis khatulistiwa. Iklim tropis terbagi menjadi dua bagian, yaitu iklim tropis lembab dan iklim tropis kering (Gambar 2.5). Karakteristik umum iklim tropis adalah memiliki temperatur yang tinggi, temperatur dan kelembaban rata-rata harian relatif konstan, dan range rata-rata temperatur bulanan adalah sekitar 1-3°C. Kelembaban dan curah hujan tinggi hampir sepanjang tahun. Relative humidity berkisar sekitar 90 %. Kondisi angin tergantung pada jarak dari laut dan bisa bervariasi sepanjang tahun. Langit hampir setiap saat berawan (Givoni,1998).



Gambar 2.5 Batasan Iklim Tropis (Lippsmeier, 1994)

Indonesia termasuk dalam kategori iklim tropis lembab dengan ciri umum adalah temperatur udara yang relatif panas, intensitas radiasi matahari yang tinggi dan kelembapan udara yang tinggi. Keterangan yang lebih spesifik mengenai karakteristik iklim tropis lembab dapat dinyatakan sebagai berikut: (Soegijanto, 1999)

1. Radiasi matahari global harian rata-rata bulanan adalah sekitar 400 Watt/m<sup>2</sup>, dengan perbedaan setiap bulannyakecil. Radiasi matahari langsung berkisar antara sedang sampai tinggi. Radiasi yang terdifusi menembus awan dan uap. Radiasi dipantulkan oleh awan sedang. Tanah menyerap banyak panas.

Jumlah refleksi radiasi matahari langsung yang mengenai tanah sedikit. Pertukaran panas dari tanah ke tubuh manusia menjadi rendah.

2. Temperatur udara: maksimum rata-rata berkisar antara 27 °C-32 °C, minimum rata-rata berkisar antara 20 °C-23 °C. Perubahan temperatur diurnal sekitar 8 °C, sedangkan perubahan annualnya kecil
3. Kecepatan angin agak rendah, sekitar 2-4 m/detik. Gerakan udaranya lambat, khususnya di daerah hutan rimba, dan lebih cepat apabila hujan turun hingga kekuatan angin 6 atau lebih. Umumnya terdapat 1 atau 2 arah angin utama.
4. Kelembaban udara cukup tinggi, dengan rata-rata 75%-80%
5. Curah hujan yang tinggi, dengan curah hujan tahunan 1000-5000 mm
6. Keadaan langit pada umumnya selalu berawan dengan iluminasi mencapai 15.000 candela/m<sup>2</sup>

Karakteristik umum tentang iklim tropis lembab di atas, menggambarkan kondisi iklim suatu perkotaan. Dalam lingkungan buatan manusia dapat mempengaruhi iklim mikro yang berbeda dengan iklim makro pada daerah tersebut, khususnya pada penelitian ini adalah kota Surabaya. Perbedaan yang terjadi antara iklim makro dan iklim mikro suatu perkotaan dapat disebabkan oleh beberapa hal seperti:

1. Perubahan penutup lahan, misalnya adanya peningkatan daya serap terhadap radiasi matahari, penurunan penguapan, dan lain-lain.
2. Bangunan dan vegetasi, dapat menghasilkan bayangan dan penghalang terhadap sinar matahari dan angin.
3. Buangan energi, misalnya dari buangan sistem AC dan pembakaran lainnya.
4. Polusi udara, merupakan gas hasil buangan dari industri dan kendaraan.

## **2.2 Model dan Konsep Keseimbangan Lingkungan Termal Perkotaan**

Model dijelaskan berdasarkan deskripsi dari berbagai variabel dan menggabungkan pernyataan-pernyataan tentang hubungan (pengaruh sebab akibat) dinamis yang telah diduga diantara variabel-variabel. Model lingkungan termal perkotaan merupakan hasil akhir dari tujuan penelitian ini yang akan dijelaskan berdasarkan konsep keseimbangan lingkungan termal perkotaan.



Konsep dijelaskan dari pengertian termal dan variabel-variabel yang dapat mempengaruhi keseimbangan termal perkotaan itu sendiri.

### **2.2.1 Model Keseimbangan Lingkungan Termal Perkotaan**

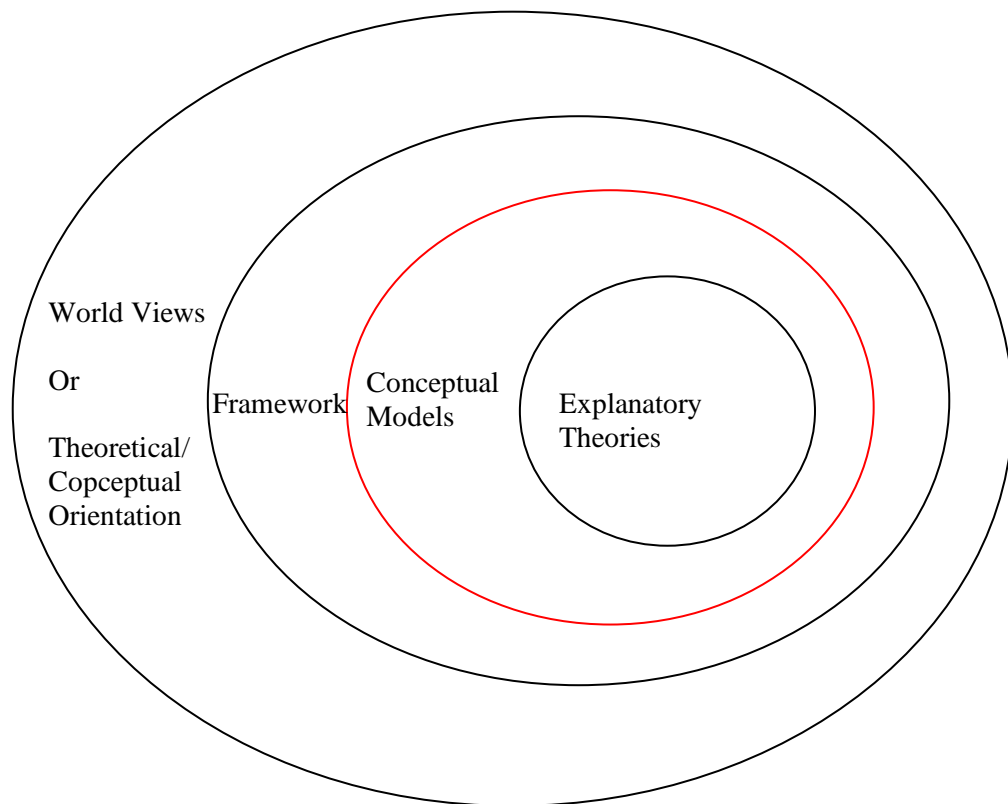
Nash (1963) dalam Moore and Marans (1997) berpendapat bahwa model merupakan analogi-analogi dalam istilah yang lebih sederhana dari pada teori, perwujudan konkret dari suatu teori, dan mereka berada di antara teori-teori dan hasil pengamatan atas realita.

Menurut Moore and Marans (1997) menjelaskan bahwa dalam desain arsitektural, model merupakan representasi statis, ikonis beberapa bagian dari dunia yang sebenarnya. Arsitek juga menggunakan model dinamis, model simbolis, seperti model komputer dari penggunaan energi pada bangunan. Dalam perencanaan, suatu model seringkali berupa simulasi dinamis dari kejadian-kejadian di dunia nyata. Model yang dirumuskan merupakan deskripsi-deskripsi dari berbagai variabel dan menggabungkan pernyataan-pernyataan tentang hubungan-hubungan dinamis yang telah diduga diantara variabel-variabel.

Dengan demikian model seringkali disebut model konseptual yang mengartikulasikan berbagai mekanisme dinamis diantara bagian-bagian terorganisir dari temuan-temuan. Dalam masing-masing kasus, bagaimanapun, model memberikan abstraksi dari berbagai kejadian fenomena di dunia nyata dan dapat digunakan untuk memprediksi kejadian-kejadian di masa depan terkait parameter tertentu. Khususnya pada penelitian ini model akan dirumuskan berdasarkan fenomena-fenomena yang terjadi dengan mendeskripsikan bagaimana sistem termal perkotaan dipengaruhi oleh pembayangan dan lansekap ruang kota. Dalam hal ini akan dijelaskan bagaimana hubungan yang terjadi antara variabel-variabel yang telah ditetapkan pada kasus penelitian ini. Gambar 2.6 menunjukkan kedudukan kontribusi hasil penelitian terhadap sistem konseptual dari urutan *world view*, *framework*, *conceptual models* dan *explanatory theories* yang diajukan oleh Moore and Marans (1997).

Sistem konseptual dari urutan *world view*, *framework*, *conceptual models* dan *explanatory theories* yang diajukan oleh Moore and Marans (1997), jika dilihat dalam konteks topik penelitian ini dapat dijelaskan sebagai berikut:

1. *World view*, merupakan pandangan secara umum. Dalam konteks penelitian ini *world view* nya berupa hubungan lingkungan binaan (*built environment*) dengan respon terhadap iklim, dengan melihat pengaruhnya terhadap kondisi lingkungan termal perkotaan.
2. *Framework*, menunjukkan dengan adanya domain (batasan) tertentu, misalnya *places*, *user group*, *social behavior respon*, *culture*, dan waktu. Dalam konteks penelitian ini berupa kajian termal dengan domain sistem lingkungan termal ruang luar perkotaan. *Places* menunjukkan perkotaan, *user group* menunjukkan pengguna ruang perkotaan, *social behavior respon* menunjukkan merespon terhadap karakteristik fisik perkotaan dan iklim tersebut, waktu bisa menunjukkan kapan pelaksanaan penelitian dan pada batasan terletak di iklim makro, meso atau mikro.



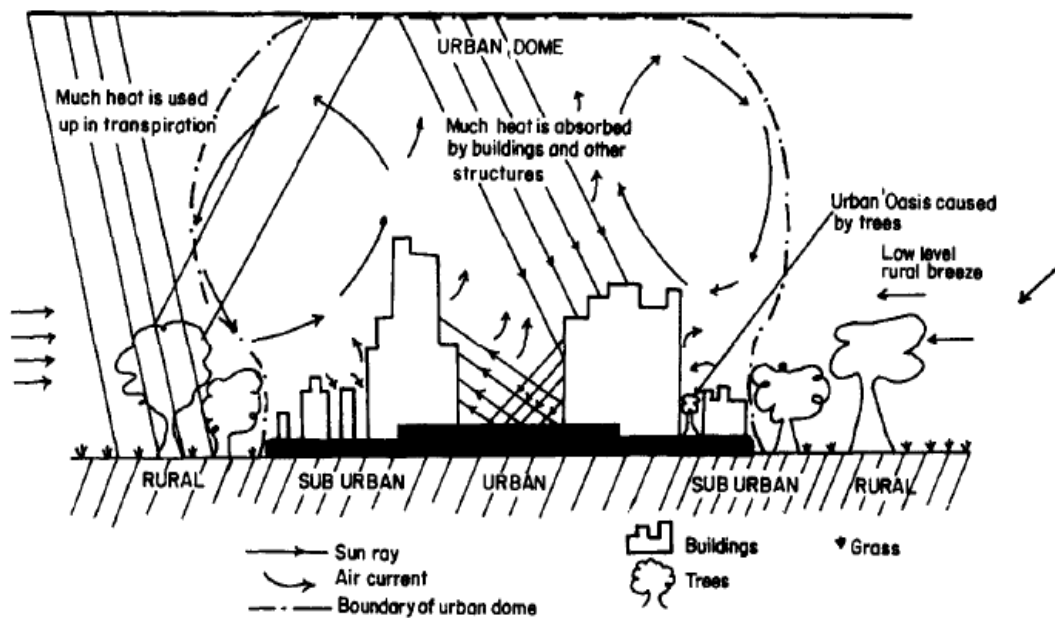
Keterangan : Kedudukan Kontribusi Hasil Penelitian berupa *Conceptual Models*

Gambar 2.6 Kedudukan Kontribusi Hasil Penelitian terhadap Sistem Konseptual Dari Urutan *World Views*, *Framework*, *Models* dan *Explanatory Theories* (Moore and Marans, 1997).

3. *Conceptual Models*, merupakan deskripsi-deskripsi dari berbagai variabel dan menggabungkan pernyataan-pernyataan tentang hubungan-hubungan (pengaruh sebab akibat) dinamis yang telah diduga diantara variabel-variabel. Dalam konteks penelitian ini, model inilah yang akan menjadi tujuan akhir penelitian, yaitu merumuskan fenomena-fenomena yang terjadi dengan mendeskripsikan bagaimana sistem lingkungan termal perkotaan dipengaruhi oleh pembayangan dan lansekap ruang kota.
4. *Explanatory theories*. Pada penelitian ini tidak sampai membangun *explanatory theories*, karena sudah lebih spesifik lagi dengan menunjukkan aspek behavior, aspek fenomologi (unsur kehidupan manusia) dan bersifat kontekstual (budaya, tempat dan waktu). Hal ini bisa menjadi usulan penelitian selanjutnya, yaitu apakah hasil dari penelitian ini berupa model optimasi tipe lansekap dalam sistem lingkungan termal perkotaan dapat diterapkan di daerah tropis lembab lainnya. Karena sudah lebih bersifat kontekstual yang menyangkut budaya, tempat dan waktu, yang dapat digeneralisir.

### **2.2.2 Konsep Keseimbangan Lingkungan Termal Perkotaan**

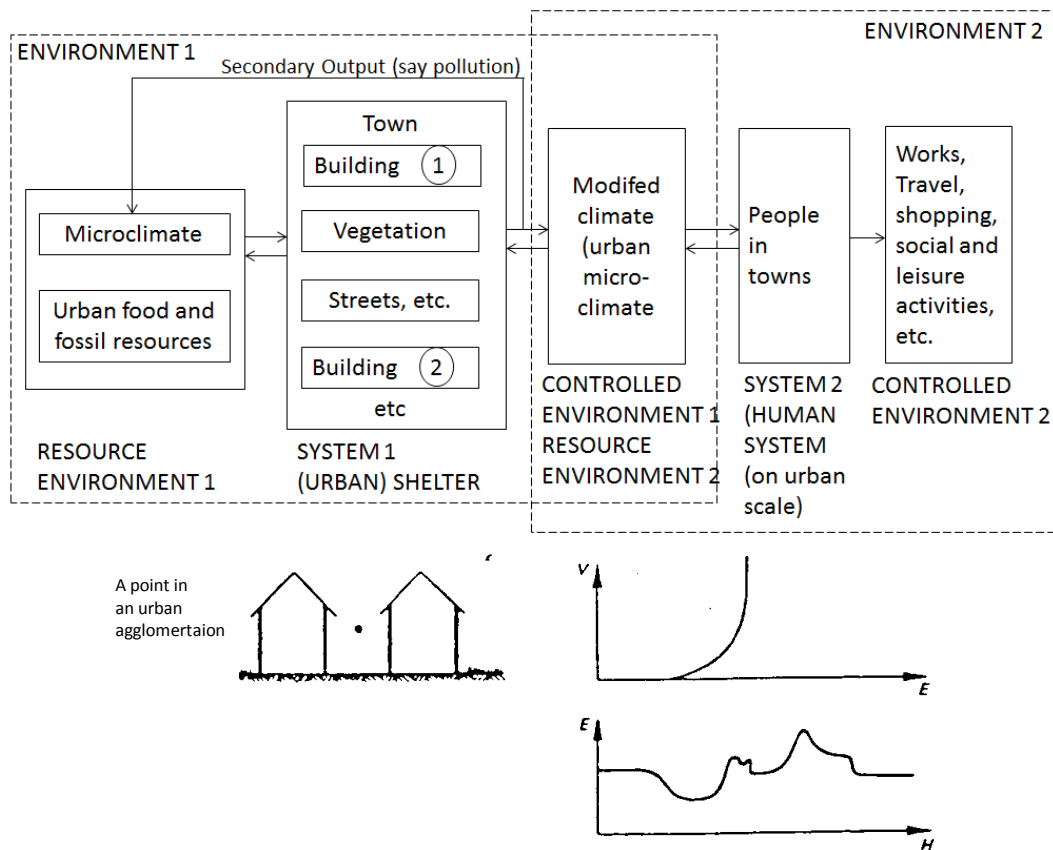
Dari sudut pandang iklim, penggunaan ruang perkotaan yang berlebihan dapat merusak alam dan ruang yang terbangun seperti penyimpanan panas yang berlebihan dan konsentrasi tinggi pada polusi udara (Liangmei, 2008). Dalam hal ini dapat menciptakan perilaku lingkungan termal di perkotaan. Perilaku termal tersebut dapat digambarkan sebagai suatu kondisi lingkungan termal di perkotaan. Menurut pendapat Nunez & Oke (1977) banyak faktor yang dapat mempengaruhi kondisi termal di suatu perkotaan. Faktor tersebut antara lain: mulai dari cuaca, skala iklim meso seluruh kota, skala iklim mikro yang dibentuk oleh fitur-fitur lansekap yang ada di perkotaan dan pedesaan. Karakteristik fisik dan fitur tersebut seperti penutup lahan, situs/kawasan, jarak dan dimensi bangunan, jalan dan pohon, serta faktor lain seperti kegiatan aktifitas manusia dan kondisi arus lalu lintas kendaraan (Gambar 2.7).



Gambar 2.7 Perilaku Termal dan Karakteristik kondisi iklim mikro perkotaan-pedesaan (Oke, 1977 dalam Adebayo, 1988)

Gambar 2.7 juga menggambarkan bagaimana terjadinya perpindahan panas antara elemen penutup lahan perkotaan maupun pedesaan, seperti perpindahan panas secara radiasi dan konveksi. Elemen iklim yang dipertimbangkan berupa radiasi matahari dan kecepatan angin. Dapat dilihat dengan adanya proses penyerapan dan pemantulan radiasi gelombang pendek dari layout dan ukuran bangunan, peningkatan *sensible heat storage* dari konstruksi material, dan peningkatan penguapan dari vegetasi serta peningkatan panas antropogenik dari bangunan.

Selain perilaku termal dan karakteristik kondisi iklim mikro perkotaan di atas, Markus & Morris (1980) membuat model sistem lingkungan termal perkotaan. Dalam hal ini, lingkungan termal perkotaan dilihat secara umum dengan memperhatikan faktor iklim mikro (temperatur, kelembaban, angin, dan radiasi matahari) yang merupakan sumber lingkungan (*resource environment*), bangunan, jalan, vegetasi dan lain-lain (*urban shelter*), dan *human system* berupa kegiatan aktivitas manusia yang akhirnya bisa menimbulkan polusi di perkotaan (Gambar 2.8).



Gambar 2.8 Sistem lingkungan termal pada suatu perkotaan (Diadaptasi dari Markus & Morris, 1980)

Gambar 2.8 mendeskripsikan suatu proses sistem lingkungan termal perkotaan disatu kondisi lingkungan perkotaan. Terdapat dua kondisi lingkungan perkotaan, yaitu sebagai berikut:

1. Lingkungan pertama, di mana kondisi iklim mikro perkotaan merupakan sumber lingkungan (*resource environment*) dapat dianggap sebagai sistem tempat tinggal perkotaan (*urban shelter sytem*) terdiri dari bangunan-bangunan, jalan, vegetasi, dan lain-lain. Sistem tersebut menghasilkan bentuk lingkungan perkotaan yang harus dikontrol (*controlled environment*) dengan modifikasi iklim mikro perkotaan.
2. Lingkungan kedua, di mana iklim mikro perkotaan yang dimodifikasi merupakan sumber lingkungan (*resource environment*). Manusia (*human system*) dalam lingkungan perkotaan tersebut tidak hanya memodifikasi iklim mikro pada bangunan tempat tinggal mereka saja, melainkan mencakup satu kota melalui adanya kegiatan manusia, seperti bekerja, melakukan perjalanan,

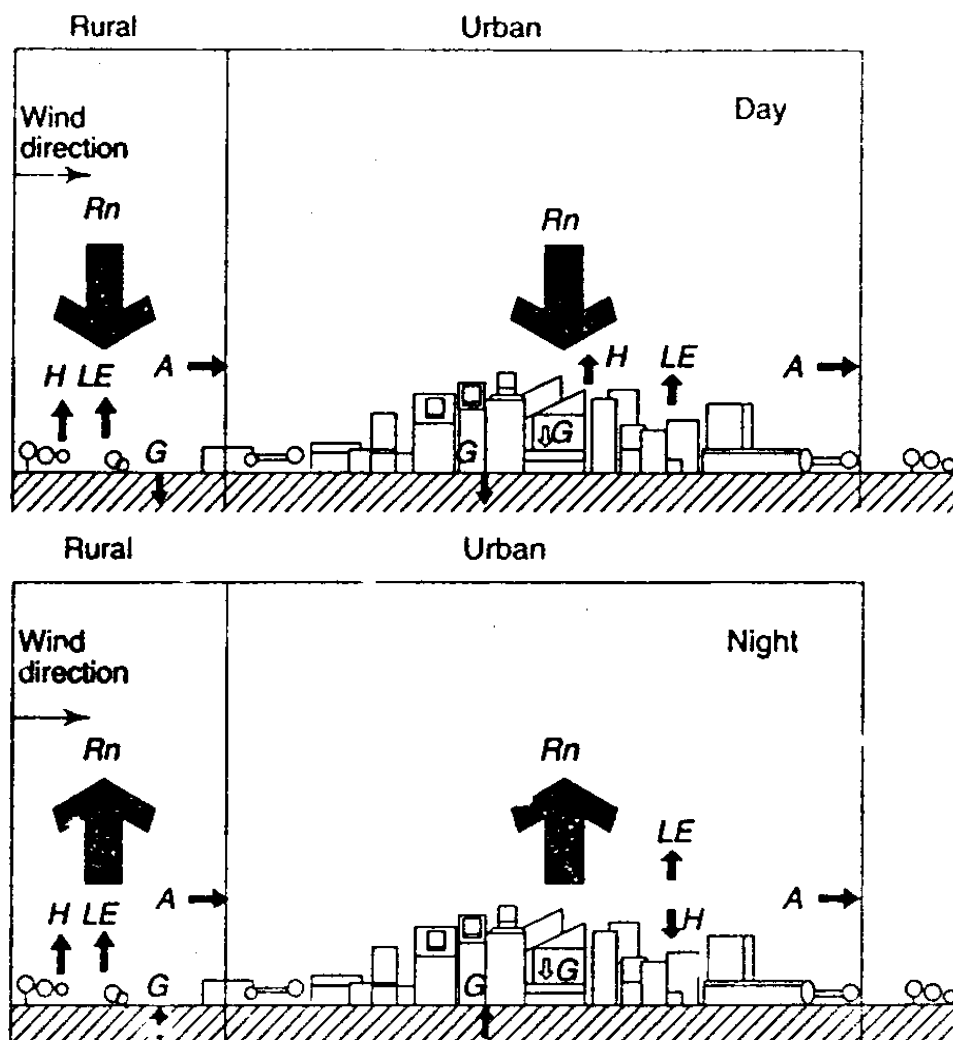
shopping, aktivitas sosial, dan lain-lain. Aktivitas manusia tersebut merupakan lingkungan yang harus dikontrol (*controlled environment*).

Dari kedua lingkungan tersebut saling berinteraksi satu sama lain. Lingkungan yang dikontrol yang merupakan output pada kondisi pertama menjadi input atau sumber lingkungan pada kondisi kedua. Sebaliknya manusia (*human system*) yang ada di kondisi kedua mencoba memodifikasi kondisi iklim mikro perkotaan dengan cara mereka beraktivitas tersebut sehingga dapat menimbulkan polusi udara pada kondisi lingkungan pertama. Jadi dapat disimpulkan bahwa sistem termal perkotaan dapat terjadi akibat adanya interaksi antara komponen-komponen yang ada di suatu kota, antara lain:

1. Sumber lingkungan (*resource environment*) berupa kondisi iklim perkotaan.
2. Komponen perkotaan (*urban shelter*) seperti bangunan-bangunan, jalan, vegetasi, dan lain-lain.
3. Manusia sebagai pengguna kota (*human system*).
4. Komponen lain seperti polusi.

Krishan dkk (2001) menunjukkan pemahaman mengenai keseimbangan lingkungan termal yang terjadi di perkotaan dan pedesaan. Komponen sistem lingkungan termal tersebut terdiri dari iklim, benda buatan manusia dan fitur alami. Dalam sistem termal ini terjadi perpindahan panas antara komponen-komponen dari sistem tersebut. Gambar 2.9 menunjukkan keseimbangan panas permukaan di perkotaan dan pedesaan.

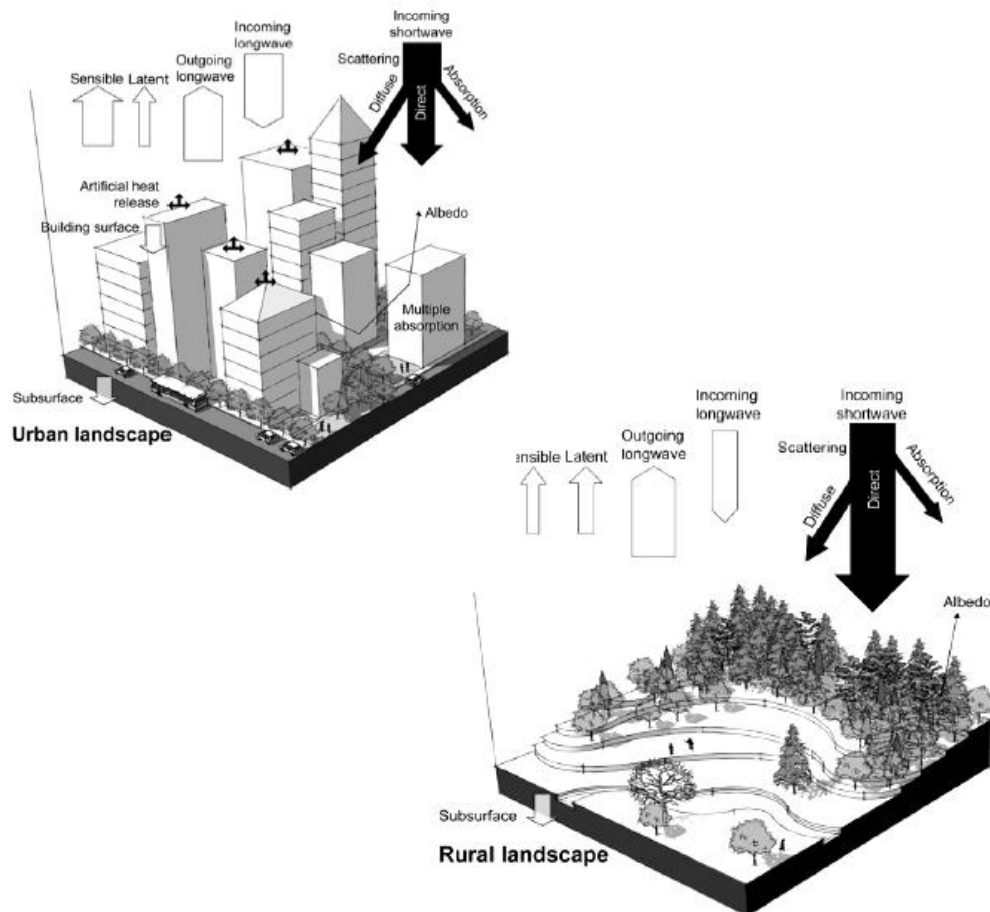
Dari Gambar 2.9 dapat dipahami bahwa perpindahan panas yang terjadi antara komponen-komponen sistem tersebut berupa radiasi, konveksi dan konduksi. Diindikasikan dengan adanya elemen iklim perkotaan berupa radiasi matahari, aliran angin, dan adanya perpindahan dalam tanah. Sistem termal perkotaan ini hampir sama dengan yang diungkapkan oleh Oke (1977). Tetapi, Krishan dkk (2001) selain mengamati perpindahan panas pada siang hari, juga mengamatinya pada malam hari. Pada siang hari, pancaran radiasi matahari mengenai seluruh komponen perkotaan disertai dengan adanya aliran angin, pada saat ini lah terjadinya perpindahan panas berupa radiasi dan konveksi. Kemudian saat malam hari, terjadi lagi proses perpindahan panas. Dari panas yang terserap pada siang hari mulai dilepaskan ke alam, begitu pun proses selanjutnya.



Gambar 2.9 Diagram skematik keseimbangan panas permukaan perkotaan dan pedesaan (Krishan dkk, 2001)

Selanjutnya Zhao dkk (2011) melakukan penelitian di pusat kota Beijing dengan memilih sebelas site, yang mewakili morfologi perkotaan yang berbeda, digunakan untuk mensimulasikan efek pulau panas dan mengeksplorasi hubungan antara indikator perencanaan kota dan indikator iklim, seperti suhu permukaan minimum dan maksimum. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengeksplorasi hubungan antara indikator perencanaan kota yang digunakan di Cina dan indikator iklim perkotaan. Indikator perencanaan kota biasanya ditentukan dalam perencanaan awal, dan berfungsi sebagai dasar untuk semua perencanaan dan proses desain. Indikator yang digunakan dalam penelitian ini meliputi: rasio luas

bangunan, kepadatan bangunan, batas tinggi bangunan, rasio ruang hijau, rasio cover hijau, dan parameter untuk jarak antara bangunan (Gambar 2.10).



Gambar 2.10 Skema representasi dari radiasi dan aliran energi pada lansekap pedesaan dan perkotaan pada hari yang cerah. Lebar panah mendekati ukuran relatif dari aliran (Zhao dkk, 2011)

Hasil penelitian menunjukkan bahwa indikator perencanaan skala meso kota dapat menjelaskan sebagian besar perbedaan iklim perkotaan antara site. Selain itu, proporsi tutupan lahan diidentifikasi sebagai indikator perencanaan perkotaan yang paling penting yang mempengaruhi panas perkotaan.

Dari keempat pendapat di atas yaitu Oke (1977), Markus & Morris (1980), Krishan dkk (2001) dan Zhao dkk (2011) mendeskripsikan kondisi lingkungan termal perkotaan terdiri dari beberapa komponen, antara lain elemen iklim perkotaan, lingkungan binaan (*built environment*), bentuk perpindahan panas yang terjadi dan komponen lainnya di perkotaan (Tabel 2.4).



Tabel 2.4 Lingkungan Termal Perkotaan

	Oke (1977)	Markus&Morris (1980)	Krishan dkk (2001)	Zhao dkk (2011)
<b>Elemen iklim</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Radiasi matahari</li> <li>• Angin</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Aliran angin</li> <li>• Temperatur</li> <li>• Radiasi matahari</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Arah angin</li> <li>• Radiasi matahari</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Temperatur</li> <li>• Angin</li> <li>• Radiasi matahari</li> </ul>
<b>Lingku- ngan Binaan</b>	Perkotaan <ul style="list-style-type: none"> <li>• Bangunan</li> <li>• Pohon</li> <li>• Rumput</li> </ul>	Perkotaan <ul style="list-style-type: none"> <li>• Bangunan</li> <li>• Vegetasi</li> <li>• Jalan</li> </ul>	Perkotaan <ul style="list-style-type: none"> <li>• Lanscape</li> <li>• Selubung bangunan</li> </ul>	Penutup lahan di perkotaan <ul style="list-style-type: none"> <li>• Bangunan</li> <li>• Ruang hijau</li> </ul>
<b>Lingkung an alami</b>	Pedesaan <ul style="list-style-type: none"> <li>• Pohon</li> <li>• Rumput</li> </ul>	-	Pedesaan <ul style="list-style-type: none"> <li>• Lanscape</li> </ul>	Pedesaan <ul style="list-style-type: none"> <li>• Pohon</li> </ul>
<b>Kompo- nen lainnya</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Manusia</li> <li>• Aktivitas</li> <li>• Polusi</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Manusia</li> <li>• Aktivitas</li> <li>• Polusi</li> </ul>	-	-
<b>Bentuk perpin- dahan panas</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Radiasi</li> <li>• Konveksi</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Radiasi</li> <li>• Konveksi</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Radiasi</li> <li>• Konveksi</li> <li>• Konduksi</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Radiasi</li> </ul>

Tabel 2.4 menggambarkan persamaan dan perbedaan tentang lingkungan termal perkotaan dari beberapa peneliti. Pada dasarnya penelitian yang dilakukan oleh Oke, Krishan dan Zhao tentang sistem lingkungan termal perkotaan adalah sama, yaitu keseimbangan lingkungan termal perkotaan ditinjau dari perhitungan energi permukaan perkotaan (*budget energy surface*) dengan melakukan pengukuran temperatur di lapangan pada site yang telah ditentukan. Berbeda dengan penelitian yang dilakukan oleh Markus & Morris lebih mendeskripsikan tentang sistem dari lingkungan termal perkotaan secara umum. Lingkungan termal perkotaan dipengaruhi dengan adanya interaksi antara iklim perkotaan, komponen kota (*urban shelter*), manusia sebagai pengguna kota (*human system*) dan komponen lainnya seperti polusi.

Pada penelitian ini konsep keseimbangan lingkungan termal perkotaan dapat dijelaskan dari pemahaman iklim mikro perkotaan dengan melihat perubahan fluktuasi pergerakan (24 jam) dari temperatur udara, kelembaban, kecepatan angin dan intensitas radiasi matahari. Dari pemahaman iklim mikro tersebut, sehingga dapat dijelaskan bagaimana pengaruh komposisi dan konfigurasi lansekap ruang kota serta pembayangan yang dihasilkan dari

komponen dan konfigurasi lansekap ruang kota tersebut terhadap sistem lingkungan termal perkotaan. Di mana lingkungan termal perkotaan tersebut akan dievaluasi dan dinilai dengan konsep kenyamanan termal ruang luar, sehingga didapat pengaruh lansekap ruang kota terhadap sistem lingkungan termal perkotaan di daerah tropis lembab.

### 2.3 Konsep Kenyamanan Termal Ruang Luar

Menurut ASHRAE dalam Johansson (2006) kenyamanan termal dapat didefinisikan sebagai:

*“a condition of mind that expresses satisfaction with the thermal environment”.*

Namun, respon termal setiap individu akan kebutuhan tingkat kenyamanan sangat beragam. Dari berbagai hasil penelitian, pada umumnya kenyamanan termal merupakan proses yang melibatkan proses fisik, fisiologis dan psikologis. Menurut Allard (1998) kenyamanan termal dipengaruhi oleh beberapa faktor, yaitu :

1. Faktor fisik (*physical* parameter) : temperatur udara, kelembaban udara dan kecepatan udara
2. Faktor fisiologis (*physiological* parameter) : umur, jenis kelamin, dan hal yang berkaitan dengan metabolisme manusia
3. Faktor eksternal : aktivitas, pakaian dan kondisi sosial.

Menurut Soegijanto (1999) kenyamanan termal dipengaruhi oleh beberapa faktor seperti temperatur udara, temperatur radiasi, kecepatan angin dan kelembaban udara. Selain itu juga dipengaruhi oleh faktor manusianya sendiri, seperti dalam hal berpakaian, aktivitas, kondisi tubuh, dan lain-lain.

Dari beberapa hasil penelitian tersebut, di setiap lokasi penelitian memiliki nilai kenyamanan termal yang berbeda-beda tergantung kondisi iklim setempat. Secara umum zona kenyamanan termal untuk di daerah beriklim tropis lembab atau daerah khatulistiwa berkisar  $22,5^{\circ}\text{C} - 29,5^{\circ}\text{C}$  dengan kelembaban udara relatif sebesar 20%-50% (Lippsmeier, 1980). Tabel 2.5 menunjukkan hasil penelitian terdahulu berdasarkan survey lapangan untuk menghitung nilai kenyamanan termal di daerah tropis.

Pada umumnya standar kenyamanan tersebut digunakan untuk pengkondisian dalam bangunan. Sementara penelitian ini membutuhkan standar kenyamanan termal untuk ruang luar, sehingga membutuhkan derajat temperatur yang lebih tinggi dibandingkan dalam bangunan. Menurut Johansson (2006) ada 3 aspek *psycho-physiological* yang mempengaruhi dampak yang lebih besar terhadap kenyamanan termal ruang luar dibanding dalam ruangan, yaitu:

1. Aklimatisasi : perubahan sistem termoregulasi (*thermoregulatory*) tubuh
2. Perilaku adaptasi : penyesuaian pakaian
3. Faktor psikologis : harapan (*expectations*) and sejarah termal (*thermal history*)

Tabel 2.5 Kenyamanan Termal di daerah Tropis

Peneliti	Temperatur	Lokasi
Elis (1952, 1953)*	26,1-26,7 °C	Singapura
Webb (1959)**	27,2 °C	Singapura
Rao (1952)**	26,0 °C	Calcutta
Nicol (1974)**	31,1 °C	India
Mom & Wiesebron (1936-1940)**	22,8 °C	Bandung & Jakarta

Sumber : Emmanuel, 2005\* dan Soegijanto, 1999\*\*

Skala kenyamanan termal dapat diketahui melalui *psychometric chart* dari kondisi temperatur dan kelembaban udara, yaitu dengan nilai temperatur efektif (TE) berada sekitar 20,5°C – 27,2°C (ASHRAE, 2004). Soegijanto (1999) menjelaskan skala temperatur efektif ini dengan menggabungkan unsur pergerakan udara (*air movement*) selain unsur temperatur dan kelembaban udara yang disebut temperatur efektif yang dikoreksi (*Corrected Effective Temperature*). Dengan demikian, pergerakan udara juga mempengaruhi penciptaan kondisi kenyamanan termal.

Berdasarkan faktor-faktor yang mempengaruhi tingkat kenyamanan seseorang, faktor fisik berupa temperatur udara, kelembaban udara dan kecepatan udara dapat menjadi faktor utama untuk mengukur tingkat kenyamanan termal. Dengan adanya pergerakan udara dapat menciptakan proses perpindahan panas

secara konveksi dan evaporasi sehingga dapat dicapai kenyamanan termal (Allard, 1998). Hal demikian juga penelitian yang dilakukan oleh Sangkertadi (2012), yang menjelaskan kecepatan angin yang efektif untuk pendinginan secara evaporasi menjadi penting, hal ini berdasarkan kondisi daerah iklim tropis dengan kelembaban udara, temperatur dan radiasi matahari yang tinggi. Adapun kebutuhan kecepatan angin untuk dapat mencapai kenyamanan termal, dapat dilihat pada tabel 2.6.

Tabel 2.6 Kebutuhan Kecepatan Angin untuk Kenyamanan Termal

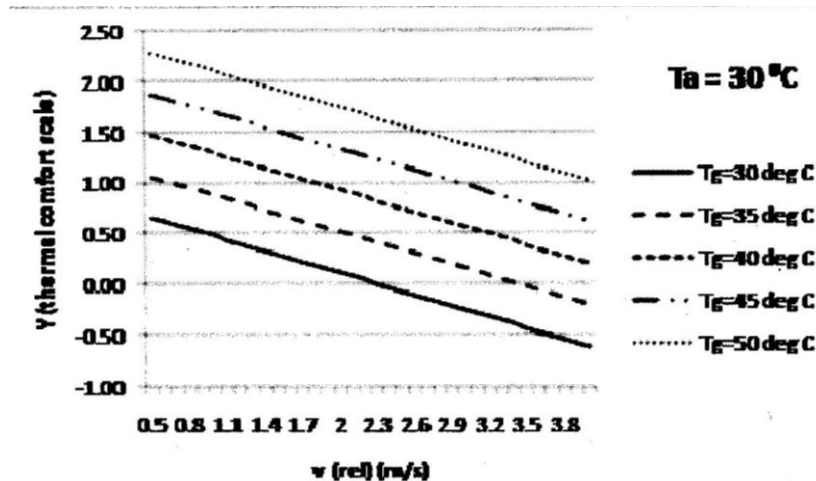
Kebutuhan Kecepatan Angin	Rentang Kenyamanan Termal
< 0,5 m/s	Diam (untuk $T = 29^{\circ}\text{C}$ )
0,5 – 1,0 m/s	Rendah
1,0 – 1,5 m/s	Nyaman
1,5 – 2,0 m/s	Sejuk
>2,0 m/s	Baik

Sumber: Sangkertadi, 2012

Beberapa hasil penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa komponen iklim yang berpengaruh besar bagi kenyamanan termal ruang luar adalah temperatur radiatif, baik yang berasal dari radiasi langsung sinar matahari, maupun karena kontribusi dari pemantulan radiatif oleh bahan bangunan pelapis permukaan ruang luar (Sangkertadi, 2013). Selanjutnya Sangkertadi (2013) berhasil merumuskan persamaan regresi untuk menghitung persepsi kenyamanan termal ruang luar beriklim tropis lembab, bagi manusia berkegiatan jalan normal dan duduk santai, dengan mempertimbangkan variabel iklim: kecepatan angin, temperatur udara, temperatur bola hitam, kelembaban relatif dan kondisi manusia berupa luas kulit tubuh. Kenyamanan termal untuk ruang luar di lingkungan yang hangat dan lembab adalah spesifik, dan berbeda dari persamaan yang lain untuk iklim lainnya. Di mana massa angin yang menyentuh tubuh manusia dapat mempengaruhi rasa nyaman ruang luar secara signifikan khususnya di daerah tropis lembab (Sangkertadi, 2014).

Hasil penelitian menunjukkan, misalnya pada situasi temperatur  $30^{\circ}\text{C}$  yang diasumsikan di bawah naungan (berarti nilai  $T_g$  mendekati  $T_a$ ,  $30^{\circ}\text{C}$ ),

dengan hembusan angin sekitar 0,7m/s (angin agak lemah) pejalan kaki masih merasa nyaman. Namun, apabila berada di bawah pengaruh temperatur radiatif yang cukup tinggi dengan  $T_g$  45°C dan hanya mendapat hembusan angin 0,5m/s pejalan kaki sudah merasa tidak nyaman, kecuali diterpa angin 4m/s, dapat berubah sesaat merasa agak lumayan (Gambar 2.11).



Gambar 2.11 Pengaruh suhu radiasi ( $T_g$ ) dan kecepatan angin terhadap kenyamanan termal pejalan kaki ( $T_a = 30^\circ\text{C}$ ;  $HR = 75\%$ ) (Sangkertadi, 2013)

Selain itu, untuk menghitung kenyamanan termal ruang luar dapat menggunakan indeks kenyamanan termal PET (*physiologically equivalent temperature*) yang merupakan salah satu indeks termal (*thermal index*) untuk menilai kenyamanan termal ruang luar. Indeks PET ini biasanya digunakan untuk mengukur kenyamanan termal di dalam ruangan, tetapi belakangan ini banyak digunakan untuk menghitung kenyamanan termal di ruang luar (Johansson, 2006, 2012; Kakon dkk, 2012). Perhitungan nilai PET dapat dihitung menggunakan simulasi program komputer ENVI-met (Bruse, 2006) dan Rayman (Matzarakis, 2010). PET didefinisikan sebagai:

*“...the air temperature at which, in a typical indoor setting (without wind and solar radiation), the heat budget of the human body is balanced with the same core and skin temperature as under the complex outdoor conditions to be assessed”* Höpfe (1999).

Menurut Hoppe 1999 nilai PET dipengaruhi oleh 4 (empat) variabel iklim : temperatur udara ( $T_a$ ), kelembaban udara ( $RH$ ), kecepatan angin ( $V$ ) dan

temperatur radiasi (Tmrt) dan variabel *thermo-physiological* : pakaian dan aktivitas manusia. Di mana peningkatan nilai PET seiring dengan peningkatan temperatur radiasi, temperatur udara dan kelembaban udara serta penurunan kecepatan angin, demikian sebaliknya (Johansson, 2006). Untuk memperkuat alasan dalam pemilihan menggunakan PET sebagai penilaian terhadap kenyamanan termal ruang luar pada penelitian ini berdasarkan indeks rasional kenyamanan termal yang umum digunakan oleh peneliti terdahulu (Tabel 2.7).

Tabel 2.7 Indeks Rasional Kenyamanan termal yang umum telah digunakan pada studi kenyamanan termal ruang luar

Indeks	Referensi Utama	Deskripsi
<i>Predicted mean vote (PMV)</i>	ASHRAE 55 (2010) ASHRAE (2001), ISO 7730 (2005), Blazejczyk dkk. (2012), McIntyre (1980)	<i>Mainly for indoors; include all the meteorological variables that affect thermal comfort (air temperature, air humidity, wind speed and mean radiant temperature) as well as personal variables (clothing and activity) (applies to both PMV and SET*)</i>
<i>Standard effective temperature (SET)</i>	ASHRAE (2001), Blazejczyk dkk. (2012), McIntyre (1980)	
<i>Effective temperature (ET)</i>	ASHRAE (2001), Blazejczyk dkk. (2012) McIntyre (1980)	<i>Mainly for indoors; only takes the four meteorological variables into account, whereas clothing and activity are standardised for indoor sedentary</i>
<i>Perceived temperature (PT)</i>	VDI 3787 (2008), Blazejczyk dkk. (2012)	<i>Based on the PMV equation, but can be used for outdoors</i>
<i>Physiologically equivalent temperature (PET)</i>	VDI 3787 (2008), Blazejczyk dkk. (2012), Höppe (1999)	<i>Intended for outdoors; only uses four variables as ET/; clothing and activity are standardised for indoor sedentary.</i>
<i>Universal thermal climate index (UTCI)</i>	Blazejczyk dkk. (2012), Havenith dkk. (2011)	<i>Intended for outdoors; No information on the clothing insulation level of the surveyed population is required. Reference condition for activity: metabolic rate of 135 W/m<sup>2</sup> and a walking speed of 1.1 m/s</i>

Sumber : Johansson, Erik, dkk, 2014

Lin (2009) meneliti kenyamanan termal di alun-alun kota Taiwan yang beriklim panas dan lembab yang menunjukkan bahwa kisaran kenyamanan termal dan temperatur netral lebih tinggi dari pada orang di daerah beriklim sedang. Hasil ini juga menampilkan adanya adaptasi termal dan menggambarkan karakteristiknya, dengan kisaran kenyamanan termal PET antara 21,3 – 28,5°C. Padahal di Barat, kisaran PET lebih rendah sebesar 18-23°C. Namun untuk di daerah tropis lembab seperti Singapura untuk kisaran kenyamanan termal PET lebih tinggi lagi yaitu 25-30 °C (Tabel 2.8).

Tabel 2.8 Klasifikasi thermal sensation di Taiwan dan Eropa Barat

Thermal Sensation	PET range for Singapore (°C PET) - a	PET range for Changsha (Summer) (°C PET) - a	PET range for Taiwan (°C PET) - b	PET range for western/middle Europa (°C PET) - b
Very cold	Not applicable	Not applicable	<14	<4
Cold	Not applicable	Not applicable	14-18	4-8
Cool	Not applicable	Not applicable	18-22	8-13
Slightly cool	Not applicable	Not applicable	22-26	13-18
Neutral	26-30	25-31	26-30	18-23
Slightly warm	30-35	31-37	30-34	23-29
Warm	35-39	37-43	34-38	29-35
Hot	39-43	43-46	38-42	35-41
Very hot	>43	>46	<42	<41

Sumber : a- Wei, Yang, 2014 ; b -Lin T.P dkk, 2010

Hasil penelitian terdahulu dari Hwang dkk (2011), Wei, Yang (2014), Paramita dkk (2014) dan Koerniawan dkk (2015) menunjukkan perbandingan nilai kenyamanan termal ruang luar PET di negara tropis dan subtropis, seperti Taiwan, Cairo, Singapura dan Indonesia (Tabel 2.9). Nilai PET yang ada di Taiwan, Cairo dan Singapura menunjukkan nilai PET maksimal sebesar 30°C dengan studi kasus di taman, jalan, universitas, dll. Sementara di Indonesia sendiri nilai PET cukup tinggi sebesar  $\pm 30-40^{\circ}\text{C}$  dengan studi kasus di rusun dan taman. Hal ini menunjukkan bahwa iklim makro setempat memiliki karakteristik tersendiri, sehingga akan menciptakan iklim mikro yang berbeda-beda sesuai dengan karakteristik iklim makro setempat.

Berdasarkan dari hasil penelitian terdahulu, dapat disimpulkan bahwa konsep kenyamanan termal ruang luar pada penelitian ini menggunakan indeks rasional kenyamanan termal PET. Indeks PET ini mempertimbangkan beberapa variabel iklim, yaitu : temperatur udara ( $T_a$ ), kelembaban udara (RH), kecepatan angin ( $V$ ) dan temperatur radiasi ( $T_{mrt}$ ), serta variabel fisiologis, yaitu kondisi manusia (aktivitas, pakaian dan ukuran tubuh). Kemudian penggunaan program simulasi ENVI-met yang siap digunakan pada penelitian ini adalah ENVI-met V.3.1 yang merupakan software gratis yang disediakan oleh [www.envimet.com](http://www.envimet.com). Nilai indeks PET dapat dihitung dengan menggunakan simulasi ENVI-met BioMet V1.01 dengan *license holder* : I Gusti Antaryama (Lab. Sains Arsitektur-ITS, Indonesia).

Tabel 2.9 Perbandingan Nilai Kenyamanan Termal Ruang Luar PET di Negara Tropis dan Subtropis

Kota	Peneliti	Iklim	Studi Kasus	Rentang PET
Taiwan*	Hwang dkk (2011)	Iklim Subtropis Lembab	Urban street	28 – 30 °C Musim Panas
Cairo**	Mahmoud (2011)	Panas dan Kering	Urban park	20-30,1 °C Bulan Panas
Singapura**	Wei, Yang (2014)	Iklim Tropical monsoon	Urban space : taman, jalan, universitas, dll	28,1 °C Musim Panas
Changsha**	Wei, Yang (2014)	Iklim Subtropis Lembab	Urban space : taman, jalan, universitas, dll	27,9 °C Musim Panas
Bandung***	Paramita dkk (2014)	Iklim Tropis Lembab	Rusun	34,2 – 40,7°C
Jakarta****	Koerniawan dkk (2015)	Iklim Tropis Lembab	Taman	< 34 °C Bulan Panas

Sumber : \*Hwang dkk (2011), \*\*Wei, Yang (2014), \*\*\*Paramita dkk (2014), \*\*\*\*Koerniawan dkk (2015)

Simulasi ENVI-met BioMet V1.01 yang digunakan untuk menghitung nilai kenyamanan termal ruang luar PET, selain dipengaruhi kondisi elemen iklim berupa temperatur udara, kelembaban udara, kecepatan angin dan temperatur



radiasi matahari, juga dipengaruhi oleh parameter individu manusia seperti jenis kelamin, umur, berat badan, perhitungan suhu pakaian (satuan clo) (tabel 2.10) dan aktivitas serta metabolisme termis (satuan Sum / Watt/m<sup>2</sup>) (tabel 2.11).

Tabel 2.10 Karakteristik Termis Global untuk Sejumlah Tipe Pakaian

Jenis Pakaian	Icl (clo)	Fcl
Tidak berpakaian	0	1
Hanya bercelana pendek (short)	0.1	1
Pakaian tropis ringan (celana pendek, baju lengan pendek, sandal)	0.3-0.4	1.05
Pakaian tropis untuk bekerja (celana panjang bahan ringan, baju lengan pendek, kaos kaki, sepatu)	0.4-0.6	1.1
Pakaian bisnis lengkap (jas, dasi, baju lengan panjang, kaos kaki, sepatu)	1	1.15
Seragam Militer	0.8	1.1

Sumber : Sangkertadi, 2013

Tabel 2.11 Angka Metabolisme untuk sejumlah aktivitas yang berbeda

Tipe Aktivitas	M/Adu (Watt/m <sup>2</sup> )	Act(met)
Mengantuk	40	0.7
Tidur	45	0.8
Duduk Santai	60	1
Berdiri Santai	70	1.2
Duduk Bekerja	65	1.1
Memasak	80-120	1.4-2
Membersihkan Rumah	120-160	2-2.7
Bekerja di kantor	60-70	1-1.2

Sumber : Sangkertadi, 2013

## 2.4 Lansekap Perkotaan

Sebelum membahas mengenai pengertian lansekap perkotaan, akan dijelaskan terlebih dahulu apa perbedaan perkotaan dan kota. Menurut Branch (1996) kota diartikan sebagai tempat tinggal dari beberapa ribu atau lebih penduduk, sedangkan perkotaan diartikan sebagai area terbangun dengan struktur dan jalan-jalan, sebagai suatu permukiman terpusat pada suatu area dengan kepadatan tertentu. Perkotaan (*urban*) yang pengertiannya lebih luas menunjukkan ciri / karakteristik / sifat kekotaan. Dalam hal ini perkotaan atau kawasan perkotaan adalah pemukiman yang meliputi kota induk dan daerah

pengaruh diluar batas administratifnya yang berupa daerah pinggiran sekitarnya / kawasan *sub-urban*. UU Penataan ruang No.26 tahun 2007 mendefinisikan kawasan perkotaan adalah kawasan yang mempunyai kegiatan utama bukan pertanian dengan susunan fungsi kawasan sebagai tempat pemukiman perkotaan, pemusatan dan distribusi pelayanan jasa pemerintahan, pelayanan sosial, dan kegiatan ekonomi.

Stewart & Oke (2012) menjelaskan pengertian perkotaan dan kota adalah:

*“Urban is defined in standard dictionaries as “constituting, forming, or including a city, town...or part of such,” with town being a “densely populated area...opposed to the country or suburbs,” and characterized physically as a “cluster of dwellings or buildings.”*

Dari beberapa pengertian perkotaan dan kota di atas dapat disimpulkan bahwa perkotaan mencakup suatu kawasan yang lebih luas sebagai tempat permukiman yang memiliki ciri atau karakteristik seperti area terbangun dengan struktur dan jalan-jalan dengan kepadatan tertentu. Di mana kawasan perkotaan tersebut meliputi sebuah kota yang juga dipengaruhi oleh batas administrasi yang membedakan dengan kota atau pinggiran kota lainnya, yang ditandai secara fisik sebagai sebuah kluster tempat tinggal.

#### **2.4.1 Kondisi Lansekap Perkotaan**

Lansekap ruang kota adalah seperangkat elemen yang bersama-sama menciptakan rasa pada tempat yang dikendalikan. Elemen-elemen pembentuk lansekap kota, yaitu tipe jalan, jenis bangunan, jenis fasade, dan bentuk bangunan serta disposisi dari lansekap (Hopper, 2007). Menurut Hopper (2007) lingkungan perkotaan merupakan penentu berbagai desain dalam bentuk struktur yang ada, yaitu berupa kondisi iklim perkotaan dan pola kota. Kemudian melihat hubungan lansekap kota dengan penggunaan lahan di suatu kota dengan memperhatikan konfigurasi, komposisi dan metrik lansekap.

Tinjauan mengenai kondisi perkotaan ini bertujuan untuk menunjukkan hal-hal fisik apa saja yang berkaitan dengan ruang perkotaan. Hal fisik itu berupa:

karakter regional, bentuk kota, tipologi dan hirarki bangunan, skala dan fenestrasi bangunan, transisi bangunan, serta pemandangan/*views*.

#### 1. Karakter Regional/ *Regional Character*

Karakteristik daerah perkotaan dalam mengembangkan solusi yang sesuai desain arsitektur yang merespon dengan karakteristik wilayah yang unik. Karakteristik daerah dapat dinyatakan melalui jenis arsitektur yang unik, melalui bangunan vernakular yang dihasilkan dari iklim lokal dan karakteristik budaya, dan arsitektur historis yang signifikan. Struktur bersejarah harus disimpan dengan memodifikasi mereka untuk penggunaan baru yang diusulkan atau dengan memasukkan bagian dari struktur yang sudah ada ke dalam desain yang diusulkan.

Menurut Hopper (2007) ada beberapa tipe karakter regional, yaitu *town and village*, *linier city*, dan *transit-oriented design*.

##### a. *Town and village*

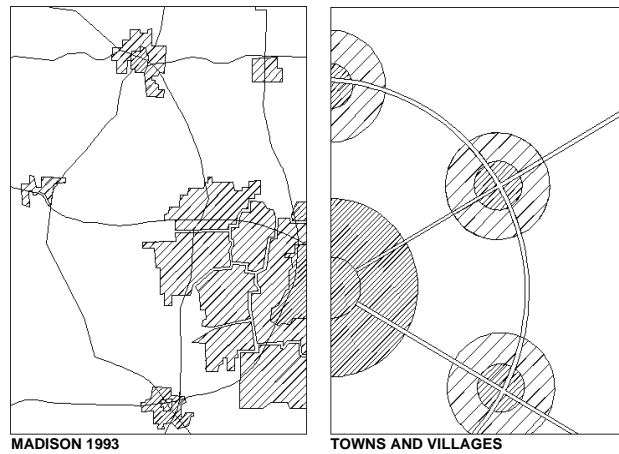
Ini merupakan pola alami kuno. Sebuah kota inti yang jelas, yang terdiri dari lingkungan, dikelilingi oleh kota-kota dan desa yang dipisahkan oleh lanskap terbuka. Idealnya, setiap elemen relatif mandiri. Perkembangan sejarah sebagai transportasi mekanis telah memungkinkan kota untuk menyerap lingkungan lansekap dan menghapus struktur tetangga yang terdekat dari kota (Gambar 2.12).

##### b. *Linier City (corridors and wedges)*

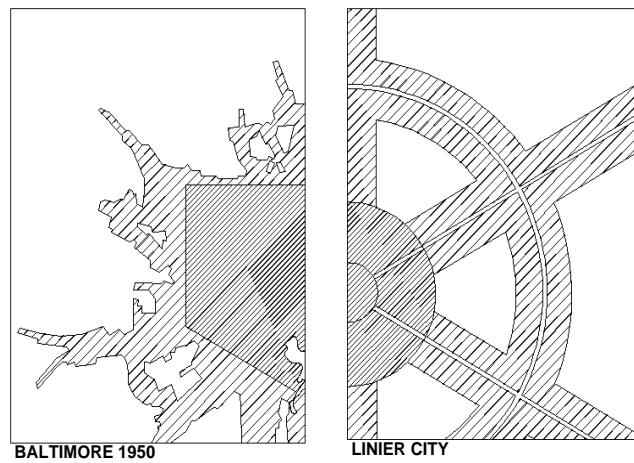
Kota linier berkembang dengan munculnya transportasi mobil, yang bergerak sepanjang sumbu dan memperpanjang batas kota, menciptakan sebuah koridor yang luas berbatasan dengan trek pejalan kaki dengan melestarikan sebuah lansekap terbuka antar koridor (Gambar 2.13).

##### c. *Transit-Oriented Design*

Pada pola ini merupakan perpaduan pola antara *town and village* dan *linier city*. Dipengaruhi munculnya aktivitas berupa perdagangan dan bisnis serta perumahan, sehingga menimbulkan node (titik tumbuh) di suatu kawasan. Sehingga menciptakan lansekap terbuka (Gambar 2.14).



Gambar 2.12 Tipe Karakter Regional Desa Dan Kota (Hopper, 2007)



Gambar 2.13 Tipe Karakter *Regional Linier city* (Hopper, 2007)



Gambar 2.14 Tipe Karakter *Regional transit-oriented design* (Hopper, 2007)

## 2. Bentuk Kota (*City Form*)

Penggambaran bentuk kota diciptakan oleh tata letak jalan, lokasi ruang terbuka besar, dan bentuk-bentuk arsitektur. Unsur-unsur yang menentukan bentuk kota harus diperkuat dengan mengembangkan solusi arsitektur untuk tempat khusus di kota. Sebagai contoh, sebuah desain yang diusulkan untuk site sudut harus dirancang untuk meningkatkan kawasan melalui detail konstruksi bentuk dan desain. Sebuah desain yang diajukan untuk midblock bisa menjadi elemen pemersatu biasanya menyediakan koneksi dan kontinuitas dengan bangunan yang berdekatan. Site lansekap yang berdekatan dengan alun-alun utama kota penting disediakan untuk bangunan publik.

### 2.4.2 Komposisi dan Konfigurasi Lansekap

Penggunaan lahan mengacu pada kegiatan utama yang terjadi di lahan, misalnya komersial, perumahan, industri, dan lain-lain. Sementara tutupan lahan mengacu pada materi permukaan fisik yang meliputi wilayah penggunaan lahan, misalnya pohon, bangunan, paving, rumput (McPherson, 1993). Menurut pendapat Zhou dkk (2011) dan Du, Shihong dkk (2016) ada 2 (dua) aspek fundamental dari pola tutupan lahan, yaitu komposisi dan konfigurasi. Adapun pengertiannya, sebagai berikut:

1. Komposisi mengacu pada varietas dan kelimpahan relatif jenis patch dalam lansekap, biasanya diukur dengan menggunakan proporsi jenis tutupan lahan yang berbeda. Karena setiap tutupan lahan tersebut memiliki sifat radiasi, termal, sifat kelembaban yang akan mempengaruhi lingkungan termal lokal yang berbeda-beda (Oke, 1982).
2. Konfigurasi mengacu pada karakteristik spasial, pengaturan, posisi, kompleksitas penutup lahan. Struktur spasial patch tutupan lahan akan dapat berpengaruh pada pertukaran energi dan efisiensi dari permukaan fluks energi antara tutupan lahan (Forman, 1995 dalam Shihong dkk, 2016).

Lansekap merupakan totalitas karakter baik abiotik maupun biotik serta proses yang berlangsung diantaranya. Lansekap terbentuk dari proses secara fisik dan biologi dari waktu ke waktu. Lansekap prosesnya tidak statis namun dinamis, setiap waktu lansekap mengalami perubahan. Untuk dapat mengelola lansekap

dengan baik, kita mengenal tiga faktor penting didalam manajemen lanskap yaitu struktur, fungsi dan perubahan.

Struktur merupakan hubungan spasial antara ekosistem-ekosistem yang berbeda atau kehadiran elemen-elemen lebih khusus, distribusi energi, material, dan spesies dalam hubungannya terhadap ukuran, bentuk, jumlah, jenis dan konfigurasi ekosistem. Fungsi adalah interaksi antara elemen spasial berupa aliran energi, material dan spesies dalam komponen ekosistem. Sedangkan perubahan adalah perubahan struktur dan fungsi mosaik ekologis. Ketiga manajemen lansekap tersebut, dalam konteks termal sangat penting. Dimana terjadinya interaksi antara elemen iklim dengan tiap komponen tutupan lahan, sehingga tercipta suatu kondisi termal ruang luar.

Secara umum, lansekap memiliki banyak peran, selain dari hanya sebagai ornamen yang ada. Menurut Hopper (2007) peran lansekap kota sebagai berikut:

1. Untuk memperbaiki kekurangan yang disebabkan oleh definisi ruang dari fasad bangunan. Batas baris tanam konstan pohon di tepi biasanya mengurangi rasio antara tinggi-lebar ruang jalan. Grid pohon digunakan untuk mengisi celah ruang kosong di depan bangunan dan tempat parkir.
2. Untuk menyesuaikan iklim mikro dengan menyediakan tempat yang terkena pembayangan sinar matahari pada bangunan dan trotoar. Untuk sisi fasade bangunan bagian timur-barat, ini mungkin melibatkan penggunaan tanaman yang asimetris.
3. Untuk mendukung karakter perkotaan atau pedesaan pada ruang publik yang direncanakan. Pemilihan spesies yang tepat dan variasi spesies yang ditanam, serta pengaturan tanaman, secara signifikan dapat mengubah lanskap.
4. Untuk menciptakan sebuah komposisi visual yang menyenangkan, perawatan estetika untuk menyembunyikan kegagalan bangunan tertentu, serta untuk mengungkapkan keberhasilan. Dengan mempertimbangkan perubahan musiman dalam spesies tanaman.
5. Untuk menciptakan spesifisitas atau kesatuan karakter yang harmonis dengan mengkoordinasi tanaman untuk publik dan privat. Seleksi harus bervariasi, untuk memastikan ketahanan terhadap hama, tetapi bukan sebagai hasil dari koleksi spesimen yang kacau. Spesies asli harus mendominasi untuk

mengurangi perawatan, dengan penekanan pada dukungan jenis satwa yang kompatibel dengan pemukiman manusia.

Kemudian Hopper (2007) menjelaskan beberapa tipe lansekap (Gambar 2.15 ), yaitu:

#### 1. *Rural Road*

Tipe ini cocok untuk bangunan di tepi lingkungan dan sepanjang daerah sabuk hijau (greenbelt) dan taman. Tidak ada baris publik tanam, tidak ada trotoar, dan drainase berupa parit terbuka.

#### 2. *Residential Road*

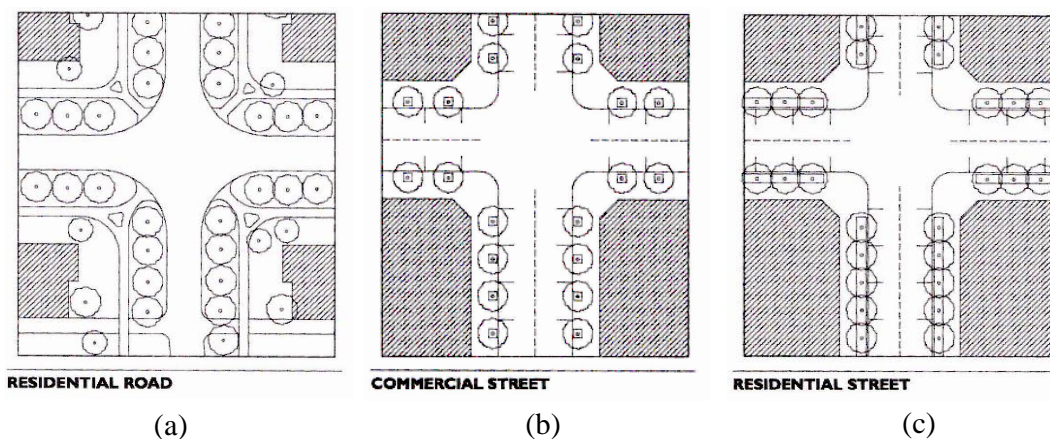
Tipe ini cocok untuk ruang luar bangunan rumah. Biasanya fasade rumah tertutup oleh keberadaan pohon yang berukuran besar yang berada di depan rumah.

#### 3. *Residential Street*

Tipe ini cocok untuk daerah perumahan, tidak diperlukan trotoar dan jenis pohon yang besar, sehingga tidak menutupi fasade dari sebuah bangunan rumah.

#### 4. *Commercial Street*

Tipe ini cocok untuk bangunan komersial di pusat kota. Membutuhkan trotoar yang besar untuk penempatan street furniture dan jenis pohon, serta drainasenya tertutup.



Gambar 2.15 Tipe –tipe Lansekap (a) *Residential Road* (b) *Commercial Street* (c) *Residential Street* (Hopper, 2007)

### 5. Avenue

Tipe ini cocok untuk bangunan sipil. Bila berada di pusat kota, membutuhkan median yang cukup lebar untuk perletakan monumen, jika di daerah perumahan, diperlukan median yang dapat ditanami oleh pepohonan.

### 6. Boulevard

Tipe ini cocok untuk daerah yang berkepadatan tinggi, biasanya di jalan-jalan arteri. Pengaruh dari adanya median jalan, selain sebagai tempat pohon, juga untuk memisahkan jalur lalu lintas.

Berdasarkan fungsi umum dari lansekap kota tersebut, dapat dikelompokkan menjadi dua, yaitu pertama, untuk mendukung karakter dari sebuah perkotaan atau pedesaan, misalnya dengan menciptakan sebuah komposisi visual yang menyenangkan dan estetika melalui tanaman dan bangunan. Kedua, untuk menyesuaikan iklim mikro, misalnya dengan menyediakan tempat yang terkena pembayangan sinar matahari pada bangunan dan trotoar. Dengan demikian ada beberapa peneliti yang membagi tipe lansekap secara umum dan ada yang ditinjau dari konteks termal dengan mempertimbangkan kondisi iklim mikro setempat.

Menurut Brown dan Gillespie (1995) desain lansekap dapat berpengaruh signifikan terhadap kenyamanan termal manusia di dalam lansekap. Kemudian Brown dan Gillespie juga mengemukakan bahwa desain lansekap secara signifikan dapat memodifikasi elemen iklim mikro : radiasi matahari dan pergerakan angin. Namun, tidak secara langsung dan tidak signifikan dapat memodifikasi elemen iklim mikro temperatur udara, kelembaban udara dan presipitasi. Untuk mengontrol temepatur dan kelembaban udara tersebut adalah dengan memodifikasi radiasi matahari dan pergerakan angin dengan desain lansekap.

Sementara menurut Oke (2006) ada 4 (empat) fitur dasar yang dapat membentuk lansekap perkotaan, yaitu: struktur perkotaan (*urban structure*) (dimensi bangunan dan ruang-ruang diantaranya, lebar dan jarak jalan), penutup laha perkotaan (*urban cover*) (bangunan, paving, vegetasi, tanah kosong dan air), *urban fabric* (konstruksi dan material alami) dan *urban metabolism* (panas, air



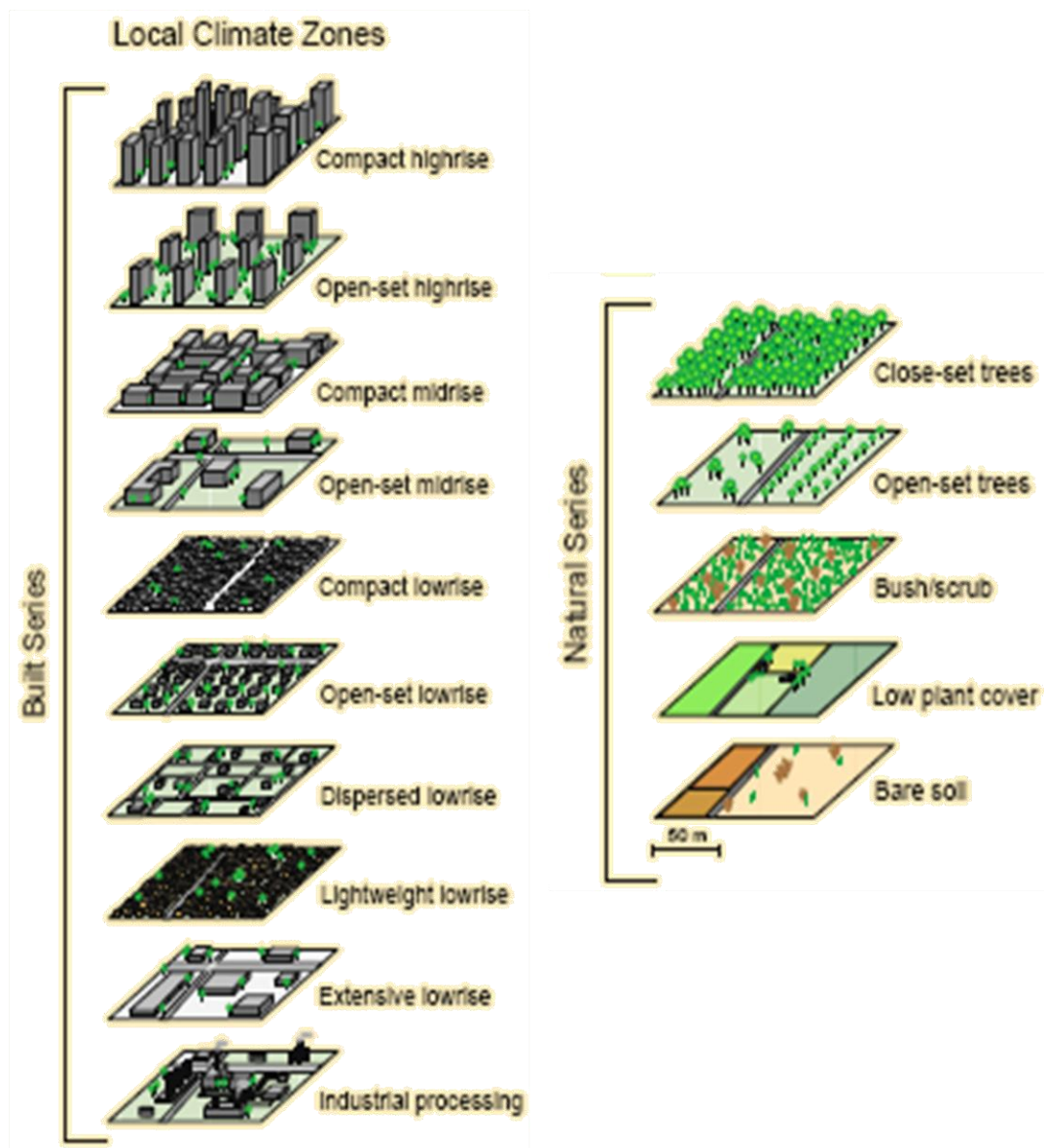
dan polusi akibat aktivitas manusia). Di mana keempat fitur dasar pembentuk lansekap perkotaan tersebut ditinjau dari konteks termal, juga sangat mempengaruhi terciptanya kondisi termal ruang luar.

Stewart (2009) melakukan penelitian untuk melihat perbedaan temperatur di kota dan desa dengan cara pengklasifikasian lokasi penelitian berdasarkan iklim perkotaan dengan pendekatan zona iklim lokal (*Local Climate Zone/LZC*). Zona iklim lokal didefinisikan sebagai daerah yang relatif seragam dalam distribusi temperatur permukaan udara dalam skala horizontal  $10^2$ - $10^4$  meter (Stewart dan Oke, 2009). Sistem zona iklim lokal terdiri dari dua zona, yaitu "zona bangunan (*built area*)" yang terdiri dari 10 zona dan "zona alami" yang terdiri dari 5 zona (Gambar 2.16). Zona bangunan didefinisikan sebagai zona yang setidaknya memiliki 25% penutup lahan, sebaliknya zona alami memiliki penutup lahan lebih kecil. Akan tetapi, lebih diperhatikan pada permukaan lahan yang memiliki kondisi basah dan kering. Hal ini disebabkan karena banyaknya penutup lahan yang dapat tembus atau menyerap panas.

Pengklasifikasian zona iklim lokal di atas, dibuat berdasarkan pada sifat-sifat permukaan yang secara langsung mempengaruhi temperatur udara setempat, seperti fraksi permukaan bangunan (*built surface fraction*), perbandingan tinggi bangunan dan lebar jalan ( $H/W$ ), faktor langit (*sky view factor/SVF*), tingkat kekasaran elemen (*height of roughness elements/ $Z_H$* ), panas antropogenik (*anthropogenic heat flux/ $Q_F$* ), dan permukaan termal admittan (*surface thermal admittance/ $\mu$* ) (Gambar 2.17). Selanjutnya Stewart & Oke (2012) lebih menjelaskan kriteria dari masing-masing pengklasifikasian dari zona iklim lokal (LCZ) tersebut (Tabel 2.12).

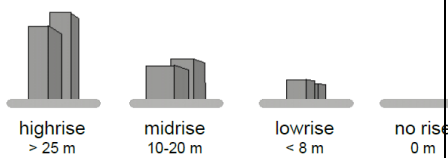
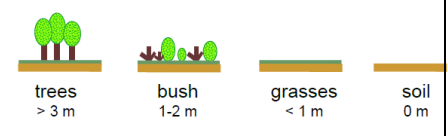

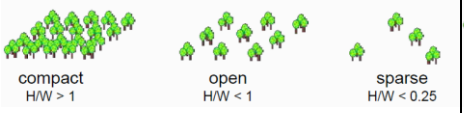
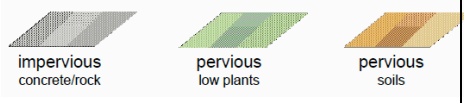
Gambar 2.17 memperlihatkan data dan hasil pengukuran di lapangan pada salah satu zona yang telah diklasifikasikan, yaitu zona *open-set highrise*. Dengan mendeskripsikan definisi zona atau wilayahnya, fungsi zona, menampilkan data visual dan hasil pengukuran dari sifat permukaan masing-masing properti pada zona tersebut. Zona ini merupakan kelompok zona yang terdiri dari bangunan tinggi dengan ketinggian lebih dari 10 lantai, biasanya seragam dalam desain (tinggi, lebar, dan material), berbentuk kotak dengan bahan konstruksi berat seperti beton, dinding bata, dan atap datar. Terdapat ruang terbuka alami di antara

bangunan dengan keadaan arus lalu lintas sedang. Zona ini berfungsi sebagai kawasan komersial seperti apartemen dan hotel. Hasil pengukuran dari sifat permukaan propertis menunjukkan hasil fraksi permukaan bangunan (50-75%), perbandingan tinggi dan lebar bangunan (0.75-1.25), faktor langit (0.45-5.65), tingkat kekasaran elemen ( $30-50^+m$ ), panas antropogenik ( $20-35 \text{ W/m}^2$ ), dan permukaan termal admittan ( $1200-1700 \text{ J/m}^2 \cdot \text{s}^{1/2} \cdot \text{K}^{-1}$ ).

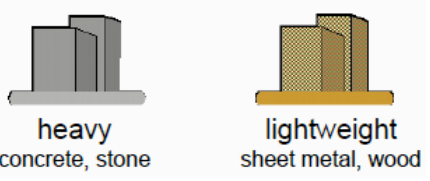

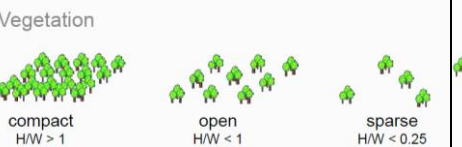


Gambar 2.16 Klasifikasi wilayah berdasarkan skala iklim : zona bangunan/*built area* dan zona alami (Stewart, 2009)

Tabel 2.12 Kriteria Zona Iklim Lokal (*Local Climate Zone*)

Kriteria Zona Iklim Lokal	Keterangan
1. <i>Compact High-rise</i> : dense mix of tall buildings to tens of stories, few or no trees, land cover mostly paved. Concrete, steel, stone, and glass construction materials	<p>Height of roughness features</p> <p>Buildings</p>  <p>Vegetation</p>  <p>Packing of roughness features</p> <p>Buildings</p>  <p>Vegetation</p>  <p>Surface cover around roughness features</p> 
2. <i>Compact midrise</i> : dense mix of midrise buildings (3-9 stories). Few or no trees. Land cover mostly paved. Stone, brick, tile, and concrete construction materials	
3. <i>Compact Low-rise</i> : dense mix of low-rise building (1-3 stories). Few or no trees. Land cover mostly paved. Stone, brick, tile, and concrete construction materials	
4. <i>Open high-rise</i> : open arrangement of tall buildings to tens of stories. Abundance of previous land cover (low plants, scattered trees). Concrete, steel, stone and glass construction materials.	
5. <i>Open midrise</i> : open arrangement of midrise buildings (3-9 stories). Abundance of pervious land cover (low plants, scattered trees). Concrete, steel, stone, and glass construction materials.	
6. <i>Open low-rise</i> : Open arrangement of low-rise buildings (1-3 stories). Abundance of pervious land cover (low plants, scattered trees). Wood, brick, stone, tile, and concrete construction materials.	
7. <i>Lightweight low-rise</i> : dense mix of single story buildings. Few or no trees. Land cover mostly hard-packed. Lightweight construction materials (e.g. wood, thatch, corrugated metal)	
8. <i>Large low-rise</i> : open arrangement of large low-rise buildings (1-3 stories). Few or no trees. Land cover mostly paved. Steel, concrete, metal and stone construction materials	
9. <i>Sparsely built</i> : sparse arrangement of small or medium-sized buildings in a natural setting. Abundance of previous land cover (low plants, scattered trees)	
10. <i>Heavy industry</i> : low-rise and midrise industrial structures (towers, tanks, stacks). Few or no trees. Land cover mostly paved or hard-packed. Metal, steel and concrete construction materials.	

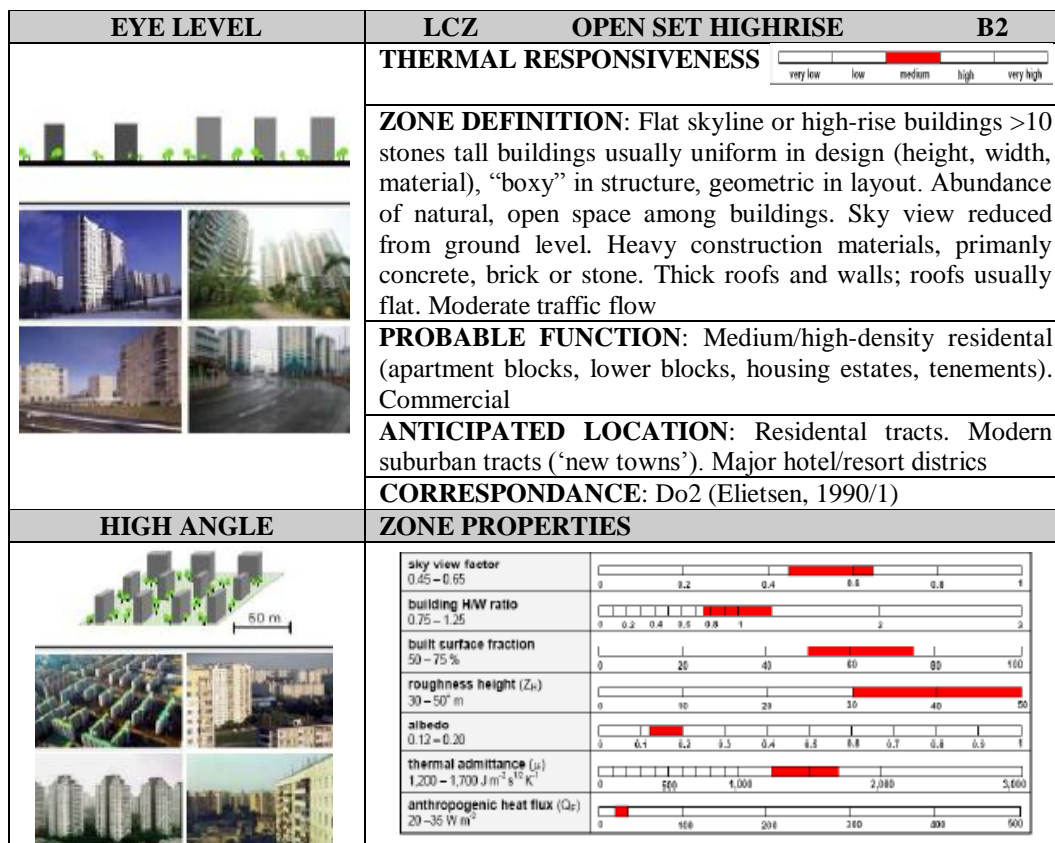
Tabel 2.12 Kriteria Zona Iklim Lokal (*Local Climate Zone*) .....(Lanjutan)

11. <i>Dense Trees</i> : Heavily wooded landscape of deciduous and/or evergreen trees. Land cover mostly pervious (low plant). Zone function is natural forest, tree cultivation or urban park	Thermal admittance of materials
12. <i>Scattered trees</i> : Lightly wooded landscape of deciduous and/or evergreen trees. Land cover mostly pervious (low plants). Zone function is natural forest, tree cultivation, or urban park	
13. <i>Bush, scrub</i> : Open arrangement or bushes, shrubs, and short, woody trees. Land cover mostly pervious (bare soil or sand). Zone function is natural scrubland or agriculture	Surface cover around roughness features
14. <i>Low plants</i> : featureless landscape of grass or herbaceous plants/crops. Few or no trees. Zone function is natural grassland, agriculture or urban park.	
15. <i>Bare soil o sand</i> : Featureless landscape of soil or sand cover. Few or no trees or plants. Zone function is natural desert or agriculture.	Packing of roughness features
	

Sumber : Stewart & Oke, 2012

Selanjutnya ada penelitian yang juga menerapkan konsep klasifikasi dari Zona lokal Iklim (*Local Climate Zone*), seperti: Middel, Ariane dkk (2014). Hasil penelitiannya mendeskripsikan bahwa konsep LCZ ini berguna untuk mengintegrasikan pengetahuan iklim lokal dalam praktek perencanaan dan desain perkotaan serta lansekap yang dapat memperbaiki temperatur udara khususnya di daerah gurun yang beriklim semi-kering Phoenix, Arizona.

Dari beberapa sumber di atas dapat disimpulkan bahwa, lansekap pada suatu kota atau wilayah pada dasarnya dikategorikan berdasarkan penggunaan lahan pada suatu wilayah tersebut. Dari penggunaan lahan tersebut dapat dijelaskan beberapa pola, struktur dari sebuah lansekap, seperti adanya lansekap dari pusat kota, pinggiran kota dan pedesaan. Dari masing-masing kawasan tersebut, memiliki komposisi dan konfigurasi lansekap ruang kota yang berbeda-beda.



Gambar 2.17 Data dan hasil pengukuran pada salah satu zona built area: *open-set highrise* (Diadaptasi dari Stewart, 2009)

Khususnya pada penelitian ini, tipe lansekap merupakan tinjauan utama yang akan dianalisis lebih lanjut secara termal. Jadi pembagian tipe lansekap secara umum yang sesuai dengan lokasi penelitian: kota Surabaya merujuk pada Hopper (2007) yaitu berdasarkan fungsi penggunaan lahan. Misalnya *Residential street* yang merupakan salah satu tipe lansekap yang cocok untuk daerah perumahan. Selanjutnya untuk mencapai tujuan penelitian yaitu untuk mengevaluasi kondisi termal ruang luar, digunakan pendekatan zona iklim lokal (*Local Climate Zone/LCZ*) yang merupakan penelitian Stewart (2009); Stewart & Oke (2012). Dengan menggunakan pendekatan tersebut dapat dideskripsikan berupa komposisi dan konfigurasi dari tiap tipe lansekap, sehingga dapat diketahui komposisi berupa persentase dari masing-masing penutup lahan dan konfigurasi pada tipe lansekap tersebut.

## 2.5 Konsep Pembayangan

Daerah khatulistiwa merupakan daerah yang paling banyak menerima radiasi matahari. Hal ini merupakan salah satu ciri daerah tropis di mana waktu pagi dan senja yang semakin pendek, semakin jauh sebuah tempat dari garis khatulistiwa, semakin panjang waktu malamnya (Lippsmeier, 1994). Dengan demikian, berbagai cara dilakukan untuk dapat menghalangi radiasi matahari tersebut untuk sampai ke permukaan bumi. Radiasi matahari yang tidak sampai ke bumi secara tidak langsung dapat menghasilkan bayangan. Bayangan itu diperoleh dari benda berbentuk tiga dimensi (*three-dimensional objects*) seperti pohon, jaringan sekumpulan pohon (*tree-belts*), bangunan, pagar atau benda buatan manusia (Lin dkk, 2010).

Beberapa penelitian terkait yang membahas tentang pembayangan: ada yang membahas tentang pembayangan terhadap ruang luar dan dalam bangunan. Shashua-Bar dkk (2000) mengeksplorasi efek pendinginan dari kawasan penghijauan karena adanya unsur pembayangan (*shading*) dari unsur geometri dan karakteristik pohon, di kota kecil Tel-Aviv, Israel yang beriklim panas. Kemudian Shashua-Bar dkk (2003) mendeskripsikan efek pendinginan dari bayangan pohon yang memiliki peran dalam penetrasi radiasi matahari ditinjau dari aspek geometri dan orientasi pada koridor jalan (*canyon street*) di iklim panas dan gersang (*hot and arid climate*).

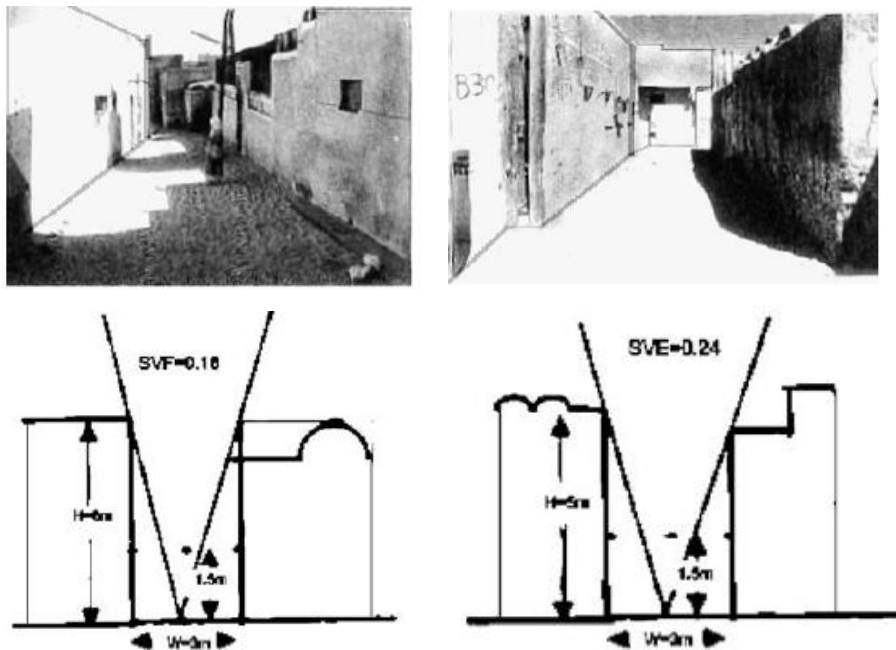
Papadakis dkk (2001) mendeskripsikan bahwa bayangan yang dihasilkan oleh pohon dapat sebagai pendinginan pasif pada bangunan sebagai pengontrol radiasi yang masuk ke dalam bangunan. Penelitian ini dilakukan dengan cara pengukuran lapangan berupa pengukuran intensitas radiasi matahari dengan alat pyranometer, kecepatan angin dengan alat ukur anemometer dan kombinasi temperatur dan kelembaban pada dinding yang terbayangi (Gambar 2.18). Penelitian serupa dilakukan oleh Gómez-Muñoz dkk (2010) mendeskripsikan bahwa bayangan dapat dievaluasi sebagai penghematan energi dalam bangunan.

Kemudian Bourbia dkk (2004) melakukan penelitian di wilayah Sahara, Algeria yang beriklim panas-kering. Terdapatnya varian temperatur udara dengan temperatur permukaan yang dipengaruhi oleh aspek bayangan yang tercipta dari bangunan dan aspek faktor langit (*Sky View Factor/SVF*) pada koridor jalan.

Dengan kata lain, terdapatnya korelasi yang besar antara bayangan dengan geometri perkotaan (bangunan dan jalan), *SVF* dan temperatur permukaan yang dapat menurunkan temperatur udara setempat. Gambar 2.19 menunjukkan salah satu pengukuran lapangan pada koridor jalan yang berorientasi Utara-Selatan dengan *SVF* yang berbeda-beda.



Gambar 2.18 Pengukuran pada permukaan dinding (Papadakis dkk, 2001)

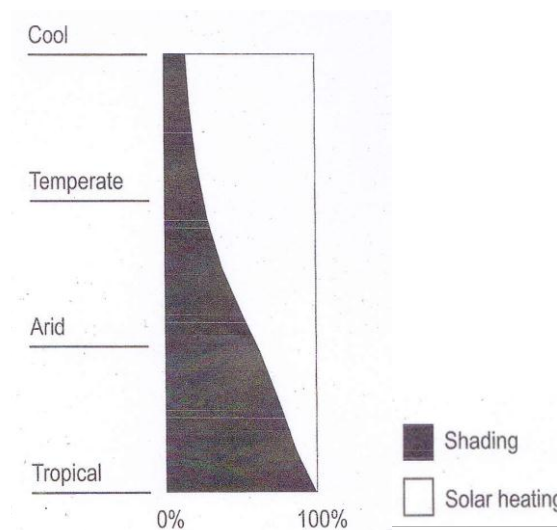


Gambar 2.19 Pengukuran lapangan (Bourbia dkk, 2004)



Menurut pendapat Picot (2004) vegetasi harus dipertimbangkan untuk dapat mengontrol kondisi iklim mikro di suatu ruang terbuka kota Milan, Italy. Dalam studi kasusnya menyebutkan pertumbuhan usia vegetasi dari bentuk yang kecil sampai tumbuh besar akan mengalami proses dalam penurunan temperatur dari bayangan yang tercipta. Demikian juga dilakukan oleh Shahidan dkk (2010) di Malaysia yang beriklim tropis lembab, yang membandingkan dua jenis vegetasi dengan karakter yang berbeda dalam modifikasi bayangan yang terbentuk dan penerimaan radiasi matahari untuk meningkatkan kenyamanan termal. Secara tidak langsung ini menunjukkan bahwa karakteristik dari suatu vegetasi akan memberikan pengaruh dalam menurunkan temperatur udara sekitar dan dapat meningkatkan kenyamanan termal, di samping pengaruh dari pembayangan yang dibentuk.

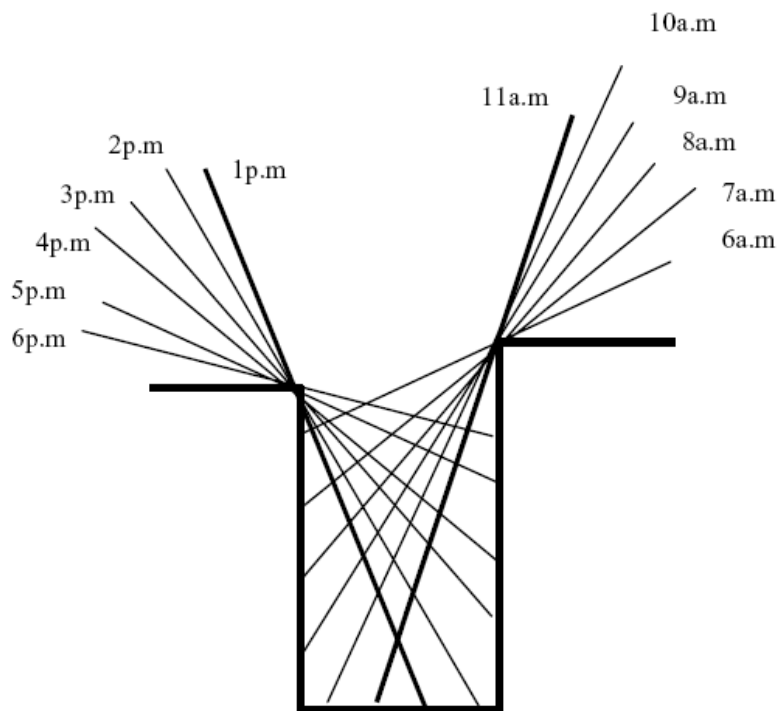
Menurut Yeang (2006) untuk dapat mengurangi beban panas dari permukaan penutup lahan, kemungkinan pembayangan dapat menjadi suatu prioritas dalam desain lansekap kota pada daerah iklim tropis (Gambar 2.20). Demikian juga Emmanuel dkk (2007) yang menjelaskan bahwa bayangan perkotaan (*urban shading*) di jalan merupakan fungsi dari orientasi jalan dan perbandingan nilai H/W. Di mana peningkatan nilai H/W mampu meningkatkan pembayangan, sehingga dapat menurunkan temperatur radiasi dan nilai PET yang berarti dapat meningkatkan kenyamanan termal ruang luar.



Gambar 2.20 Kebutuhan peningkatan pembayangan pada daerah iklim tropis (Yeang, 2006)



Posisi matahari dan karakteristik geometri perkotaan memiliki pengaruh dalam pembentukan bayangan pada permukaan di bawahnya. Prosentase bayangan yang dihasilkan akan berbeda-beda di setiap suatu zona atau kawasan. Biasanya prosentase hasil bayangan yang terbesar terjadi pada waktu mulai pagi hari sampai menjelang siang dan waktu setelah siang sampai sore hari (menjelang terbenamnya matahari). Pada waktu siang sendiri, persentase bayangan yang dihasilkan sedikit karena posisi matahari tepat berada di atas pengamat/tegak lurus terhadap permukaan bumi (sudut datang matahari  $90^0$ ). Sebagai contoh Gambar 2.21 menunjukkan hasil proyeksi bayangan di koridor jalan pada waktu yang berbeda dengan ketinggian matahari  $61,10^\circ$ .



Gambar 2.21 Hasil proyeksi bayangan pada koridor jalan pada waktu yang berbeda (Bourbia dkk, 2004)

Dari penelitian di atas, dapat disimpulkan tentang konsep pembayangan, antara lain:

1. Pada dasarnya bayangan itu di peroleh dari posisi matahari dan benda berbentuk tiga dimensi (*three-dimensional objects*) seperti pohon, jaringan sekumpulan pohon (*tree-belts*), bangunan, pagar atau benda buatan manusia. Dalam suatu perkotaan ini tidak terlepas dari pengaruh nilai H/W, semakin

tinggi nilai H/W dapat meningkatkan prosentase pembayangan yang dihasilkan.

2. Bayangan yang dihasilkan oleh pepohonan merupakan salah satu faktor pendinginan pasif (*passive cooling*) yang dapat menurunkan temperatur udara perkotaan sehingga tercipta kenyamanan termal, baik bagi pengguna lingkungan luar maupun dalam bangunan. Hal ini tidak terlepas dari karakteristik pohon berupa jenis pohon dan kerapatan daun yang nantinya dalam penyediaan naungan.
3. Bayangan yang dihasilkan oleh pohon dapat menentukan penghematan penggunaan energi di dalam bangunan.
4. Pendinginan pasif dan penghematan energi dalam bangunan tersebut dipengaruhi oleh unsur geometri dan karakteristik dari pepohonan yang dapat menghasilkan bayangan.
5. Terjadinya varian temperatur udara dengan temperatur permukaan yang dipengaruhi oleh aspek bayangan yang tercipta dari bangunan dan orientasi jalan. Hal ini berkaitan dengan komponen penutup lahan yang berada di bawah bayangan yang dihasilkan tersebut.
6. Khususnya untuk di daerah tropis, kebutuhan pembayangan sangat tinggi dalam mendesain sebuah bangunan maupun fisik perkotaan.

Konsep pembayangan di atas digunakan sebagai salah satu konsep dasar dalam menentukan sistem termal perkotaan. Khususnya untuk menganalisis dan mengkaji pengaruh pembayangan yang terbentuk dari komposisi dan konfigurasi lansekap ruang kota terhadap sistem termal pada suatu lingkungan perkotaan, sehingga dapat meningkatkan kenyamanan termal ruang luar. Di mana dengan memanipulasi pembayangan melalui sebuah tipe lansekap lansekap ruang kota dapat memberikan salah satu cara yang layak untuk mengurangi pemanasan kota menuju kenyamanan termal khususnya di daerah tropis lembab.

## **2.6 Lansekap Ruang Perkotaan dan Pembayangan sebagai Faktor yang Mempengaruhi Kondisi Lingkungan Termal Perkotaan**

Berdasarkan pada pembahasan sebelumnya tentang konsep sistem lingkungan termal perkotaan, bahwa salah satu faktor yang mempengaruhi kondisi

lingkungan termal perkotaan adalah lingkungan binaan dan alami (*urban shelter*) (Oke, 1977; Markus & Morris; Krishan dkk, 2001; Zhao dkk, 2011). Menurut Oleson dkk (2008) karakteristik fisik perkotaan yang dapat mempengaruhi kondisi lingkungan termal perkotaan, yaitu luas daerah perkotaan, karakteristik morfologi perkotaan berupa penutup lahan/*land cover* terdiri dari penutup lahan terbangun termasuk geometri perkotaan (perbandingan tinggi bangunan dan lebar jalan (H/W)) dan penutup lahan alami (misalnya taman, pepohonan, rumput, tanah dan air). Setiap komponen penutup lahan tersebut memiliki sifat termal (kapasitas panas/*heat capacity*, konduktivitas termal/*thermal conductivity*) dan radiasi (emisivitas, albedo) yang akan menciptakan kinerja termal yang berbeda yang nantinya akan mempengaruhi kondisi iklim mikro perkotaan.

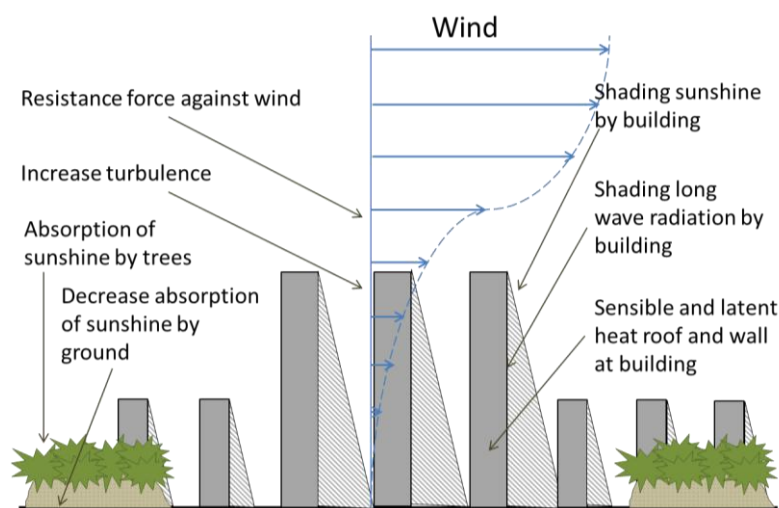
Kinerja termal yang dihasilkan oleh karakteristik perkotaan berupa penutup lahan seperti bangunan dan pohon dapat sebagai elemen penyerapan panas yang bisa menyebabkan terjadinya peningkatan temperatur udara. Namun sebaiknya penutup lahan tersebut dapat sebagai elemen pembentuk pembayangan yang memberikan efek pendinginan bagi perkotaan. Fungsi dari berbagai elemen penutup lahan tersebut menjadi bahan analisis yang menarik untuk dikaji secara komposisi dan konfigurasinya terkait hubungannya dengan respon iklim perkotaan.

Karakteristik fisik perkotaan tersebut merupakan bagian dari lansekap ruang kota yang terdiri dari:

1. Komponen penutup lahan terbangun (geometri perkotaan: bangunan dan jalan)

Dalam lingkungan binaan (*built environment*), masalah termal perkotaan dapat digambarkan sebagai konflik antara bangunan dan iklim perkotaan (Yu dkk, 2009). Masalah termal tersebut ditandai dengan perubahan besar dalam radiasi, panas, kelembaban, dan sifat aerodinamis pada lingkungan terbangun ketika dibandingkan dengan lingkungan alam sekitarnya. Sebagaimana yang dinyatakan oleh Oke (1987) bahwa sistem perkotaan termal dipengaruhi oleh penyerapan dan pembuangan energi oleh karakteristik fisik perkotaan (bangunan) yang dapat mengarah terjadinya perbedaan temperatur udara di perkotaan dan pedesaan " $\Delta T_{\text{urban-rural}}$ ".

Perbedaan temperatur tersebut disebabkan oleh sifat termal dan radiasi dari masing-masing properti bangunan tersebut. Menurut Lun dkk (2009) ada beberapa sifat termal dan radiasi yang dihasilkan oleh masing-masing properti fisik perkotaan, antara lain kekuatan resistensi terhadap angin, meningkatkan turbulensi, penyerapan radiasi matahari oleh pohon, mengurangi penyerapan radiasi matahari oleh permukaan atau tanah, terciptanya bayangan oleh bangunan dan panas laten serta panas sensibel pada atap dan dinding bangunan (Gambar 2.22).



Gambar 2.22 Sifat termal dan radiasi dari masing-masing properti fisik perkotaan (Diadaptasi dari Lun dkk, 2009)

Arnfield 2003 dalam Johansson, 2006 mendeskripsikan bahwa termal propertis dari komponen penutup lahan sangat mempengaruhi iklim perkotaan. Tabel 2.13 menunjukkan nilai termal propertis dari komponen penutup lahan. Selain itu, juga dipengaruhi oleh nilai pemantulan dan penyerapan dari berbagai bahan dan jenis permukaan penutup lahan (Tabel 2.14). Sifat termal dan radiasi dari masing-masing properti fisik perkotaan tersebut, tidak terlepas dari indikator suatu perencanaan perkotaan. Adapun indikator dari suatu perencanaan perkotaan pada umumnya terdiri dari rasio luas bangunan, kepadatan bangunan, batas tinggi bangunan, jarak antara bangunan rasio ruang hijau, dan rasio cover hijau (Zhao dkk, 2010). Dari indikator tersebut, apabila tidak seimbang maka dapat menyebabkan terjadi pemanasan di perkotaan. Salah satu hasil penelitian Nichol dkk (2009) yang menunjukkan terdapatnya hubungan erat antara temperatur

permukaan (*surface temperature*) dan temperatur udara (*air temperature*) terhadap perubahan dan jenis penutupan lahan (Gambar 2.23).

Tabel 2.13. Nilai Termal Propertis Dari komponen penutup lahan

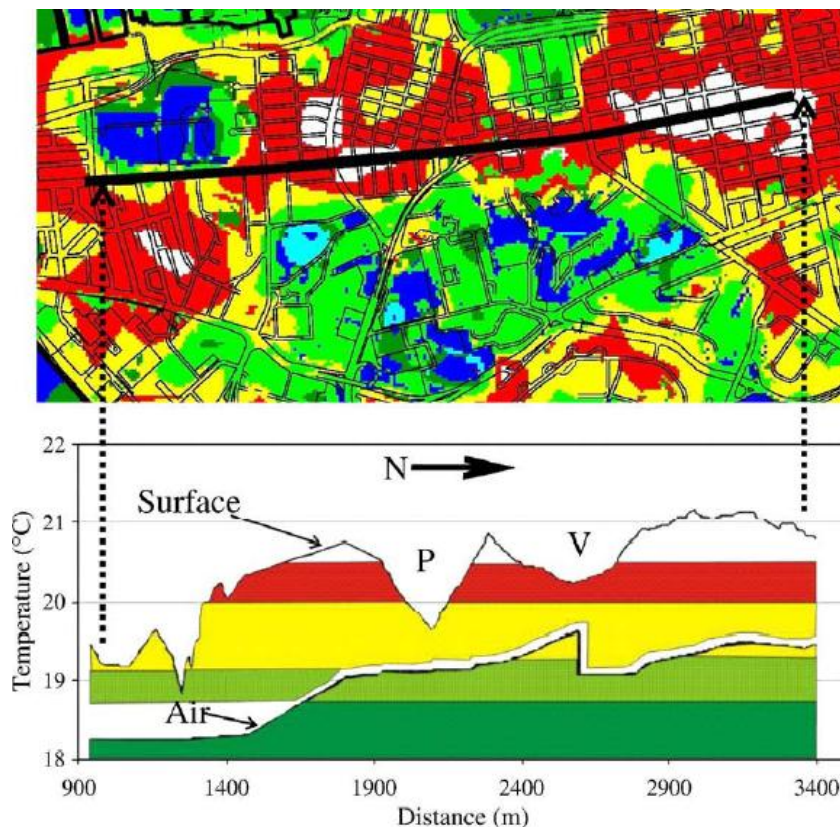
Komponen Penutup Lahan	Thermal Properties
Aspal	1000 J/kg.K
Paving	1000 J/kg.K
Rumput Basah (wet grass)	1465,5 J/kg.K
Rumput kering (dry grass)	795 J/kg.K

Sumber: Szokolay, 2004

Tabel 2.14 Nilai-nilai pemantulan dan penyerapan bahan dan jenis permukaan penutup lahan

Bahan dan Kondisi Permukaan	% Penyerapan	% Pemantulan
Aspal	85-95	15-5
Beton	60-70	40-30
Rumput	80	20
Tanah	70-85	30-15

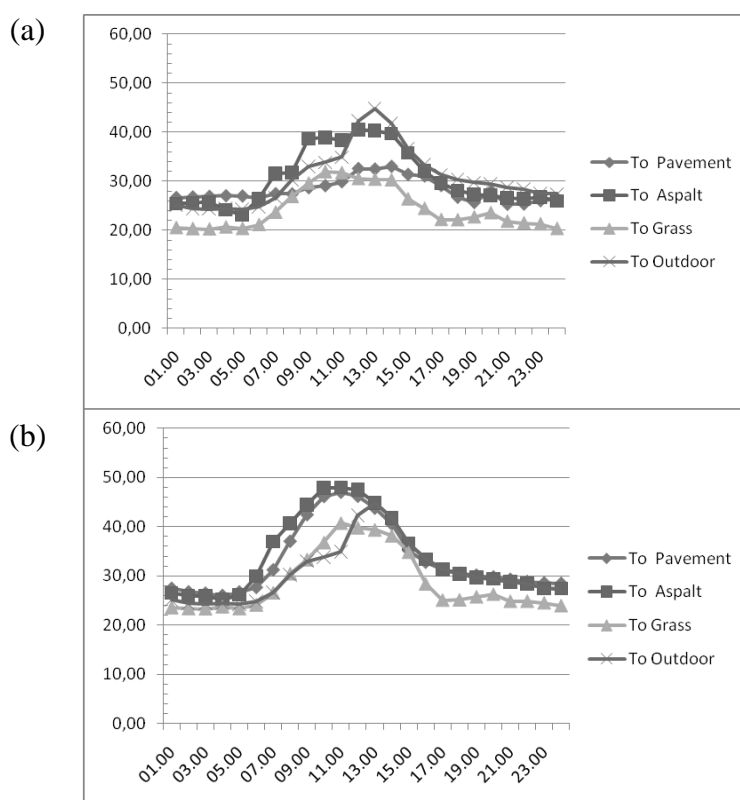
Sumber: Lippsmeier, 1994



Gambar 2.23 Perbedaan temperatur permukaan dan temperatur udara pada setiap jenis penutupan lahan (Nichol dkk, 2009)

Gambar 2.23 menunjukkan adanya perbedaan temperatur baik temperatur permukaan maupun temperatur udara setiap jarak 500 meter. Hal ini dipengaruhi oleh perbedaan tutupan lahan yang merupakan bagian dari model populasi atau fisik struktur dari perkotaan sebagai akibat adanya *UHI*. Sebagaimana yang ditunjukkan pada Gambar 2.23, setiap tutupan lahan memiliki sifat termal dan radiasi yang dapat memicu terjadinya perbedaan temperatur yang mempengaruhi kondisi termal perkotaan.

Demikian yang dilakukan Bahar dkk (2011), yang menyelidiki pengaruh kinerja termal dari konfigurasi elemen lansekap (aspal, paving, tanah, rumput) terhadap kondisi termal pada kawasan perumahan di daerah tropis lembab. Hasil penelitian menunjukkan bahwa elemen lansekap yang terbayangi cenderung memiliki temperatur permukaan yang lebih rendah dibandingkan yang tidak terbayangi (terkena paparan sinar matahari langsung) (Gambar 2.24). Selain itu juga menjelaskan pentingnya pembayangan dalam mengatur kondisi termal.



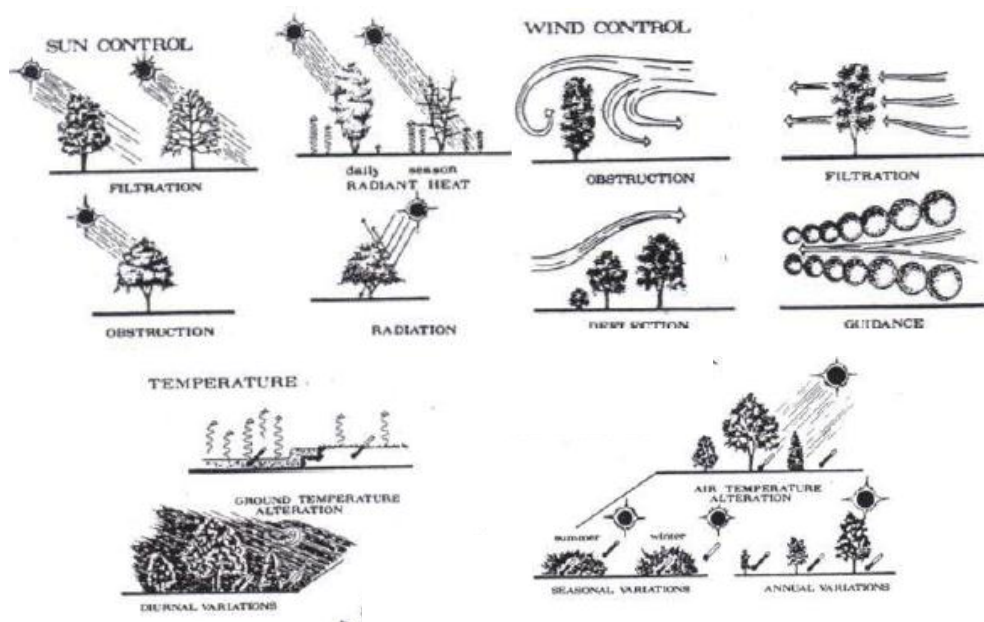
Gambar 2.24 Perbedaan temperatur permukaan elemen lansekap dengan temperatur udara di daerah terbuka: (a) terbayangi (b) tidak terbayangi (Bahar dkk, 2011)

## 2. Komponen alami (pohon, rumput, tanah dan air)

Zona penghijauan di suatu perkotaan dapat mengurangi peningkatan suhu akibat dari adanya perubahan iklim sebagai suatu fenomena termal perkotaan atau sering dikenal dengan istilah *UHI*. Daerah hijau di dalam ruang kota, dapat menciptakan efek pendinginan, menurunkan suhu dan meningkatkan kelembaban relatif (Oke, 1987). Dari peningkatan suhu karena pulau panas perkotaan, diperkirakan bahwa sekitar 25-50% dapat dikurangi melalui vegetasi (Rowntree dkk, 1982). Komponen alami yang dapat mempengaruhi kondisi lingkungan termal perkotaan dijelaskan sebagai berikut:

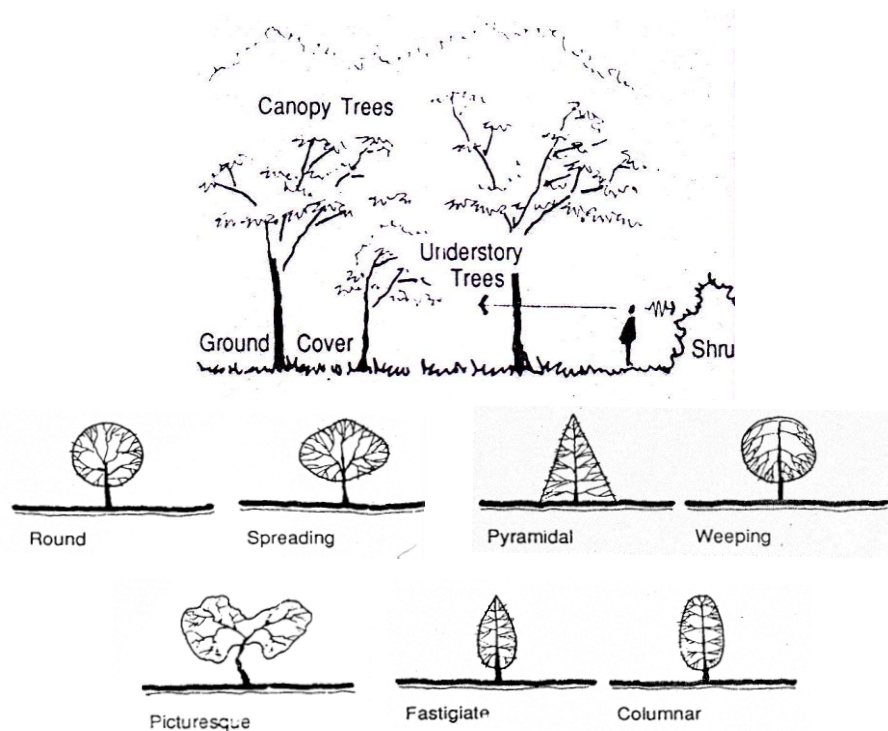
### a. Karakteristik dan geometri pohon (tinggi dan model kanopi pohon)

Karakteristik pohon ini akan mempengaruhi kondisi lingkungan binaan dalam hal ini elemen pembentuk iklim mikro. Menurut Brown dan Gillespie (1995) ada empat cara utama untuk memodifikasi iklim mikro melalui komponen elemen lansekap alami, terutama pohon: angin, kelembaban relatif, radiasi matahari yang masuk dan radiasi terrestrial dari tanah dan permukaan lainnya. Misalnya dapat menurunkan temperatur udara, meningkatkan kelembaban udara, mengontrol pergerakan udara dan mengontrol besarnya radiasi yang diterima (Gambar 2.25).



Gambar 2.25. Pohon sebagai kontrol dari radiasi matahari, angin dan temperatur (Robinette, 1983)

Hal ini tidak terlepas dari karakteristik pohon tersebut, sebagaimana Boutet (1978) menguraikan beberapa komponen, yaitu: bentuk dan ukuran, kepadatan, kekakuan dan pengaturan dalam pemilihan jenis dan penempatan. Menurut Booth (1990), ada tujuh bentuk umum pohon yakni fastigate (ramping & meruncing), columnar (lonjong), spreading (melebar), rounded (bulat), pyramidal (piramid), weeping (merunduk) dan picturesque (seperti lukisan). Dengan karakteristik terdiri dari kanopi, rumput dan penutup lahan yang terlihat pada gambar 2.26.



Gambar 2.26. Bentuk pohon (Booth, 1990).

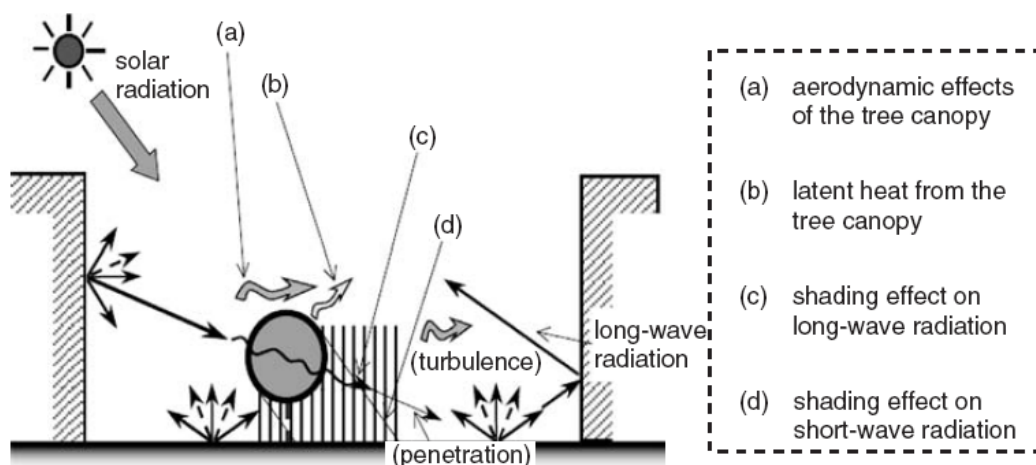
Arnold, 1980; Trowbridge & Bassuk, 2004 dalam Yahia dkk (2014) pemilihan pohon di lingkungan perkotaan untuk membuat desain perkotaan tertentu dapat didasarkan pada banyak aspek seperti penyediaan bayangan/naungan, yang tergantung pada sifat dedaunan, jenis tanah, jenis sistem akar serta kemungkinan untuk beradaptasi dengan iklim. Kaitannya dengan LAI (*Leaf Area Index*) dan LAD (*Leaf Area Density*). Menurut Ong (2013) LAI didefinisikan sebagai total luas permukaan daun satu sisi ( $m^2$ ) per satuan luas tanah ( $m^2$ ) dan dapat dianggap hanya sebagai rasio daun ke tanah tertutup. LAD didefinisikan



sebagai total satu area daun sisi ( $\text{m}^2$ ) Volume lapisan perunit ( $\text{m}^3$ ) di setiap lapisan horizontal pohon. Dengan kata lain, dapat didefinisikan sebagai total luas daun per satuan volume, yang dapat memberikan gambaran tentang distribusi daun vertikal.

Menurut Shahidan dkk (2010) karakteristik fisik dari sebuah pohon memiliki kemampuan untuk mengubah radiasi termal. Kanopi pohon menjadi efektif dalam memodifikasi radiasi dengan mempertimbangkan karakteristik fisik: penutup dedaunan yang lebat dan bercabang yang berpengaruh besar dan signifikan terhadap filtrasi radiasi. Selimut dedaunan yang berkaitan dengan nilai-nilai LAI tinggi berkontribusi untuk menghalangi radiasi yang masuk. Hal ini dibuktikan pada kasus jenis pohon *M. ferrea* L, yang memiliki nilai LAI lebih tinggi mampu mengurangi radiasi termal hampir 92,55% melalui penyerapan dan refleksi, sehingga menghasilkan hanya 7% radiasi panas di bawahnya kanopi.

Menurut pendapat Yoshida dkk (2006) dalam Lun dkk (2009) penanaman pohon merupakan salah satu langkah memperbaiki lingkungan luar perkotaan, misalnya dalam mengurangi angin kencang di sekitar bangunan bertingkat tinggi dan meningkatkan kenyamanan termal. Model kanopi pohon dapat memprediksi iklim mikro karena ada efek aerodinamis dari pohon dan efek termal berupa efek bayangan dari radiasi gelombang pendek dan gelombang panjang, produksi uap air (*latent heat*) dan *sensible heat* (Gambar 2.27).



Gambar 2.27 Model kanopi pohon dapat memprediksi iklim mikro (Yoshida dkk, 2006 dalam Lun dkk, 2009)

Pada pembahasan sebelumnya, banyak penelitian serupa yang berkaitan tentang pengaruh karakteristik dan geometri pepohonan terhadap lingkungan termal perkotaan dan bangunan juga dilakukan oleh Shashua-Bar dkk (2000), Papadakis dkk (2001), Picot (2004), Gómez-Muñoz dkk (2010), Shahidan dkk (2010). Hasil penelitian menyatakan bahwa pendinginan pasif dan penghematan energi dalam bangunan dapat dipengaruhi oleh unsur geometri dan karakteristik dari pepohonan yang dapat menghasilkan bayangan.

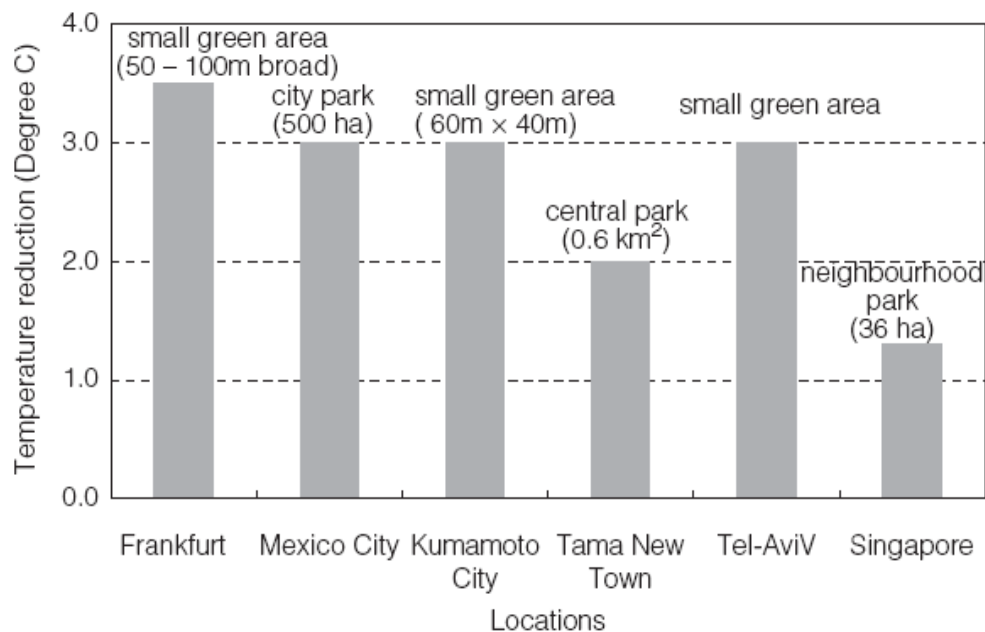
Berdasarkan uraian di atas dapat disimpulkan bahwa karakteristik vegetasi / pohon berpengaruh secara makro dan mikro terhadap lingkungan luar binaan untuk menciptakan lingkungan termal yang baik, kaitanya dalam pembentukan bayangan. Di mana khusus di daerah tropis lembab yang memiliki radiasi matahari yang cukup tinggi, sehingga perlu diminimalisir dengan keberadaan sebuah pohon. Namun, selain karakteristik fisik, perletakan sebuah pohon dalam suatu lansekap ruang juga sangat mempengaruhi iklim mikro sekitarnya, misalnya perletakan pohon mengikuti pola bangunan atau jalan dan berkelompok membentuk sebuah taman kecil.

#### b. Keberadaan zona penghijauan (*taman dan green-belt*)

Berdasarkan hasil kajian sebelumnya, zona penghijauan telah terbukti memberikan manfaat pada kondisi termal perkotaan dan penghematan energi untuk bangunan yang terletak di dekatnya. Hal ini tidak terlepas dari luas dan kondisi dari keberadaan zona penghijauan tersebut. Dampak yang paling langsung dirasakan adalah terjadinya pengurangan temperatur udara ambien. Menurut Yu dkk (2009) terjadinya penurunan temperatur udara ambien sebesar 2-3<sup>0</sup>C sebagai akibat dari keberadaan zona penghijauan adalah umum terjadi di kota-kota seluruh dunia (Gambar 2.28).

Gambar 2.28 menunjukkan bahwa besarnya penurunan temperatur udara sebagai akibat dari adanya zona penghijauan tidak dapat ditentukan oleh besar dan kecilnya luasan suatu zona penghijauan (*taman dan green-belt*). Di samping efek penurunan temperatur udara, zona ini juga memiliki pengaruh terhadap seberapa jauh efek pendinginan dapat dirasakan oleh elemen lansekap di sekitarnya. Hal ini juga dipengaruhi oleh faktor lainnya, seperti lokasi, komposisi dan konfigurasi

dari zona penghijauan serta elemen penggunaan dan penutup lahan yang berada di sekitar zona penghijauan tersebut. Di samping itu, faktor terpenting yang dapat menurunkan temperatur udara adalah elemen iklim perkotaan lainnya berupa kelembaban, arah dan kecepatan angin.

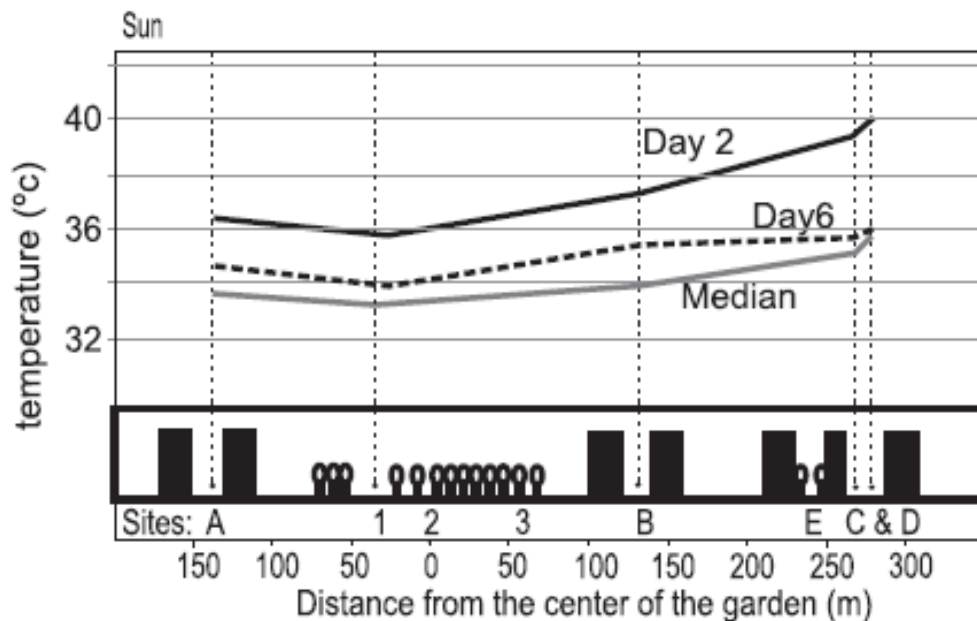


Gambar 2.28 Penurunan temperatur udara yang disebabkan oleh zona penghijauan pada suatu perkotaan di seluruh dunia (Yu dkk, 2009)

Sebagai contoh, Shasua-Bar dkk (2000) meneliti efek pendinginan dari sebuah zona penghijauan kecil di kota Tel-Aviv, Israel. Efek pendinginan yang di dapat selain dari luas zona penghijauannya, juga di pengaruhi oleh geometri dan karakteristik pohon yang menghasilkan bayangan. Penurunan temperatur udara terjadi pada siang hari sekitar 3K dan memiliki efek pendinginan sepanjang 100 meter terhadap jalan-jalan yang berada di dekat zona penghijauan tersebut.

Kemudian Oliveira dkk (2011) mendeskripsikan pengaruh zona hijau terhadap pendinginan suasana di perkotaan. Faktor-faktor yang diperhatikan adalah karakteristik dari zona hijau (taman), karakteristik daerah sekitar zona hijau dan kondisi iklim setempat (Gambar 2.29). Gambar 2.29 menunjukkan efek pendinginan dari zona tersebut mencapai beberapa puluh meter terhadap daerah sekitarnya ( $\pm 50$  meter dari pusat zona hijau). Kemudian setelah jarak  $\pm 50$  meter tersebut terjadinya peningkatan temperatur sebesar  $1-2^{\circ}\text{C}$ , hal ini kemungkinan

sudah dipengaruhi oleh elemen penutup lahan yang ada di sekitarnya. Tetapi pada penelitian ini tidak dijelaskan prosentase dari masing-masing elemen penutup lahan pada zona hijau dan daerah sekitarnya.



Gambar 2.29 Pengaruh zona hijau terhadap pendinginan suasana di perkotaan dilihat dari faktor jarak (Oliveira dkk, 2011)

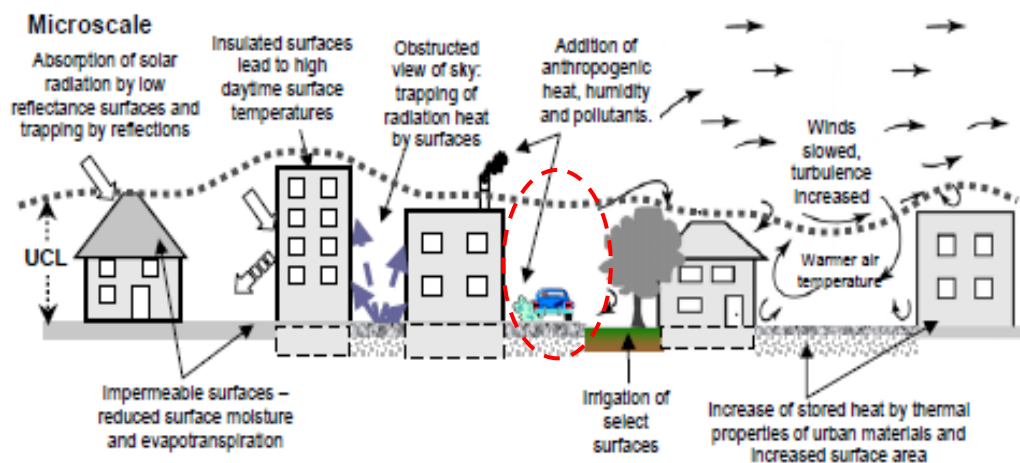
Berdasarkan pembahasan di atas tentang lansekap ruang kota dan pembayangan sebagai faktor yang mempengaruhi kondisi lingkungan termal perkotaan, dapat disimpulkan bahwa dalam lansekap ruang kota yang perlu diperhatikan adalah komposisi dan konfigurasi dari lansekap ruang kota tersebut berupa komponen tutupan lahan. Komponen tutupan lahan perkotaan terdiri dari komponen geometri perkotaan (bangunan dan jalan) dan komponen bersifat alami (pepohonan, taman, rumput dan tanah). Dilihat dari sifat termal dan radiasi, serta termal propertis dari masing-masing komponen tutupan lahan perkotaan tersebut memiliki pengaruh terhadap kondisi termal perkotaan. Dari karakteristik fisik perkotaan tersebut dapat disimpulkan beberapa parameter desain dari lansekap ruang kota yang mempengaruhi sistem termal perkotaan, yaitu sebagai berikut:

- Persentase komponen penutup lahan (elemen lansekap)
- Orientasi kawasan
- Pola perletakan massa bangunan
- Perbandingan Nilai H/W

- Pola perletakan vegetasi
- Pembayangan (bangunan dan pohon): persentase area terbayangi

## 2.7 Komponen Lainnya: Polusi sebagai Faktor yang Mempengaruhi Kondisi Lingkungan Termal Perkotaan

Dalam teori sistem termal perkotaan, sebagaimana dinyatakan oleh Oke (1977), Markus & Morris (1980), Krishan dkk (2001) dan Zhao dkk (2011) bahwa kondisi termal perkotaan dipengaruhi oleh komponen lainnya di perkotaan seperti polusi udara yang ditimbulkan oleh kendaraan. Tingkat kepadatan kendaraan pada suatu koridor jalan merupakan salah satu faktor yang dapat mempengaruhi iklim mikro perkotaan (Gambar 2.30).



Gambar 2.30 Proses *UHI* pada iklim mikro perkotaan: Kendaraan merupakan salah satu faktor yang mempengaruhi temperatur perkotaan (Diadaptasi dari Voogt, 2003)

Gambar 2.30 menunjukkan proses *UHI* pada iklim mikro suatu perkotaan yang dipengaruhi oleh berbagai karakteristik fisik perkotaan, sebagaimana yang telah diungkapkan pada subbab sebelumnya. Salah satu faktor yang mempengaruhi kondisi termal perkotaan adalah panas yang ditimbulkan dari kendaraan. Dalam bidang transportasi ukuran kuantitatif yang menerangkan kondisi operasional fasilitas lalu lintas jalan dalam Manual Kapasitas Jalan Indonesia/MKJI (1997) disebut dengan kinerja lalu lintas jalan. Adapun unsur-unsur yang mempengaruhi kinerja lalu lintas jalan adalah kapasitas jalan, volume

lalu lintas, kecepatan/waktu tempuh, tundaan, peluang antrian, panjang antrian, dan derajat kejenuhan.

#### 1. Kapasitas jalan

Kapasitas jalan adalah jumlah lalu lintas kendaraan maksimum yang dapat ditampung pada ruas jalan selama kondisi tertentu (desain geometri, lingkungan dan komposisi lalu lintas) yang dapat ditentukan dalam satuan mobil penumpang (smp/jam). Faktor yang bisa mempengaruhi kapasitas jalan diantaranya: lebar efektif jalur atau lajur, ada tidaknya pemisah/median jalan, hambatan bahu jalan, gradient jalan, karakteristik lalu lintas dan fisik jalan di ruas jalan perkotaan atau antar kota, ukuran kota yang mempengaruhi ruas jalan yang ditinjau, dan hambatan samping sisi jalan.

#### 2. Volume lalu lintas

Volume lalu lintas adalah total kendaraan yang melewati titik atau segmen lajur atau jalur pada waktu tertentu, biasa dinyatakan dalam harian atau jam-jaman. Faktor yang berkaitan dengan volume meliputi: komposisi jenis kendaraan, distribusi arah dan berbagai ragam kepentingan dari pengguna jalan menjadikan lalu lintas di jalan terdiri atas berbagai macam jenis, variasi, kemampuan.

#### 3. Kecepatan/waktu tempuh

Kecepatan digambarkan sebagai unit jarak perwaktu. Dalam menentukan kecepatan arus lalu lintas, yang harus ditentukan adalah kecepatan yang paling mewakili, dalam MKJI menggunakan kecepatan tempuh sebagai ukuran utama kinerja lalu lintas jalan. Kecepatan tempuh didefinisikan sebagai kecepatan rata-rata ruang dari kendaraan ringan sepanjang segmen jalan.

#### 4. Derajat kejenuhan

Derajat kejenuhan merupakan perbandingan dari volume arus lalu lintas terhadap kapasitasnya. Nilai derajat kejenuhan menunjukkan kemampuan fasilitas jalan dalam menampung volume lalu lintas yang terjadi saat itu dan digunakan sebagai salah satu indikator kondisi lalu lintas pada suatu fasilitas jalan.

Berdasarkan uraian di atas, salah satu penyebab peningkatan temperatur udara di perkotaan adalah kondisi kepadatan kendaraan. Selain panas antropogenik yang tercipta, kendaraan juga dapat menimbulkan polusi udara yang

dapat mengganggu sistem termal perkotaan secara kualitas. Berbicara tentang kapasitas jalan (ukuran lebar jalan) tentunya tidak terlepas dari fungsi suatu kawasan, yang selanjutnya akan menentukan jumlah kendaraan yang lewat (kepadatan kendaraan).

Dalam penelitian ini, panas antropogenik berupa frekuensi arus lalu lintas kendaraan bermotor dan jarak antara posisi kendaraan dan zona-zona yang telah ditentukan akan ditinjau dalam suatu tipe lansekap ruang kota. Namun panas antropogenik ini hanya sebagai parameter desain penjelasan alternatif pengaruh terhadap sistem termal perkotaan.

## **2.8 Dasar Teori**

Penelitian ini, teori-teori yang menunjang model sistem lingkungan termal perkotaan lebih dapat dijelaskan dari teori keseimbangan termal kota, pemahaman iklim mikro perkotaan dengan melihat perubahan temperatur udara, kelembaban, kecepatan angin dan intensitas radiasi matahari terhadap kenyamanan termal ruang luar di daerah tropis lembab, khususnya teori komposisi dan konfigurasi lansekap ruang kota serta konsep-konsep pembayangan. Teori-teori tersebut digunakan sebagai dasar pengetahuan (*base of knowledge*) dalam penelitian ini (Tabel 2.15) dan tergambar pada Gambar 2.31 yang menunjukkan alur pikir kajian teori terkait tujuan penelitian.

Menurut Moore and Marans (1997) menjelaskan bahwa dalam desain arsitektural, model merupakan representasi statis, ikonis beberapa bagian dari dunia yang sebenarnya. Arsitek juga menggunakan model dinamis, model simbolis, seperti model komputer dari penggunaan energi pada bangunan. Dalam perencanaan, suatu model seringkali berupa simulasi dinamis dari kejadian-kejadian di dunia nyata. Model yang dirumuskan merupakan deskripsi-deskripsi dari berbagai variabel dan menggabungkan pernyataan-pernyataan tentang hubungan-hubungan dinamis yang telah diduga diantara variabel-variabel.

Pengaruh komposisi dan konfigurasi lansekap ruang kota serta pembayangan yang dihasilkan oleh komposisi dan konfigurasi lansekap ruang kota tersebut terhadap sistem termal perkotaan dapat dijelaskan dengan teori keseimbangan termal perkotaan. Dalam teori ini, sebagaimana dinyatakan

Tabel 2.15 Dasar Pengetahuan (*base of knowledge*) dalam penelitian

Dasar Teori	Uraian Teori	Variabel Penelitian
<ul style="list-style-type: none"> <li>Keseimbangan Lingkungan Termal Perkotaan (Oke (1977), Markus &amp; Morris (1980), Krishan dkk (2001))</li> </ul>	<p>Kondisi termal : komponen elemen iklim perkotaan, lingkungan binaan (<i>built environment</i>), bentuk perpindahan panas (konduksi, radiasi dan konveksi)</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Elemen iklim perkotaan</li> <li>Lingkungan binaan</li> <li>Bentuk perpindahan panas</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>Skala Iklim Boutet(1987), Allard (1998) dan Barry (1970), Oke (2006)</li> </ul>	<p>Berhubungan dengan karakteristik dimensi, baik skala horizontal, skala vertikal dan skala waktu</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Iklim mikro dengan radius 102 - 104m (perkotaan)</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>Lansekap Ruang Perkotaan Hoppe (2007), Stewart dkk (2009), Zhou dkk (2010), Lun dkk (2009)</li> </ul>	<p>Tipe lansekap diidentifikasi dengan karakteristik berupa komposisi dan konfigurasi elemen lansekap yang tidak hanya memperhatikan fungsi kawasan, tetapi juga memperhatikan iklim perkotaan</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Tipe lansekap</li> <li>- Persentase komponen penutup lahan</li> <li>- Sifat termal komponen penutup lahan</li> <li>- Orientasi kawasan</li> <li>- Pola perletakan bangunan</li> <li>- Rasio H/W</li> <li>- Pola perletakan vegetasi</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>Pembayangan Shashua-Bar dkk (2000), Papadakis dkk (2001), Picot (2004), Emmanuel dkk (2007), Gómez-Muñoz dkk (2010), Shahidan dkk (2010)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Bayangan: posisi matahari dan benda berbentuk tiga dimensi (bangunan, pohon, pagar).</li> <li>Bayangan perkotaan (<i>urban shading</i>) di jalan merupakan fungsi dari orientasi jalan dan perbandingan nilai H/W.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Prosentase pembayangan</li> <li>- Geometri perkotaan (Rasio H/W)</li> <li>- Karakteristik pohon</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>Kenyamanan Termal Ruang Luar ASHRAE (Hoppe, 1999), Johansson (2006), (Bruse, 2009), Sangkertadi (2013).</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li><i>a condition of mind that expresses satisfaction with the thermal environment.</i></li> <li>Indek termal PET dengan variabel iklim : temperatur udara (Ta), kelembaban udara (RH), kecepatan angin (V) dan temperatur radiasi (Tmrt) dan variabel thermo-physiological : pakaian dan aktivitas manusia.</li> </ul>	<p>Indek termal PET dengan variabel iklim :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Temperatur udara (Ta)</li> <li>- Kelembaban udara (RH)</li> <li>- Kecepatan angin (V)</li> <li>- Temperatur radiasi (Tmrt)</li> </ul>



oleh Oke (1977), Markus & Morris (1980), Krishan dkk (2001) dan Zhao dkk (2011) bahwa kondisi termal perkotaan dihasilkan oleh komponen elemen iklim perkotaan, lingkungan binaan dan alami (*urban shelter*), bentuk perpindahan panas yang terjadi dan komponen lainnya di perkotaan.

Teori dasar tentang sistem termal perkotaan di atas, kemudian diperkuat dengan teori pemahaman tentang skala iklim dan elemen iklim. Skala iklim mikro oleh Boutet (1987), Allard (1998) dan Barry (1970), yaitu skala iklim yang berhubungan dengan ruang terbatas, seperti ruangan dalam kota, jalan, taman dengan cakupan wilayah  $\pm 10$  km. Di dalam iklim mikro, masih dipengaruhi oleh kondisi iklim yang skalanya lebih kecil yaitu iklim site. Iklim site dengan batas sekitar 1 km horizontal dan vertikal sampai dengan 100 m. Sebagaimana yang dijelaskan Oke (2006) tentang skema skala iklim dan batas vertikal pada daerah perkotaan.: PBL (*planetary boundary layer*), UBL (*urban boundary layer*), UCL (*urban canopy layer*) dan Stewart (2009) tentang *Local Climate Zone* (LZC).

Di samping skala iklim, lingkungan binaan (*built environment*) berupa karakteristik fisik perkotaan atau tutupan lahan perkotaan yang merupakan bagian dari lansekap ruang kota juga mempengaruhi kondisi termal perkotaan. Menurut pendapat Zhou dkk (2011) ada dua aspek fundamental dari pola tutupan lahan, yaitu komposisi dan konfigurasi. Adapun pengertiannya: (1) komposisi mengacu pada kelimpahan dan berbagai fitur tutupan lahan dengan mempertimbangkan karakter atau pengaturan. (2) Konfigurasi mengacu pada distribusi dan fitur spasial tutupan lahan serta luasan dari tutupan lahan. Penutup lahan/*land cover* terdiri dari penutup lahan terbangun termasuk geometri perkotaan (perbandingan tinggi bangunan dan lebar jalan) dan penutup lahan alami (misalnya taman, pepohonan, rumput, tanah dan air).

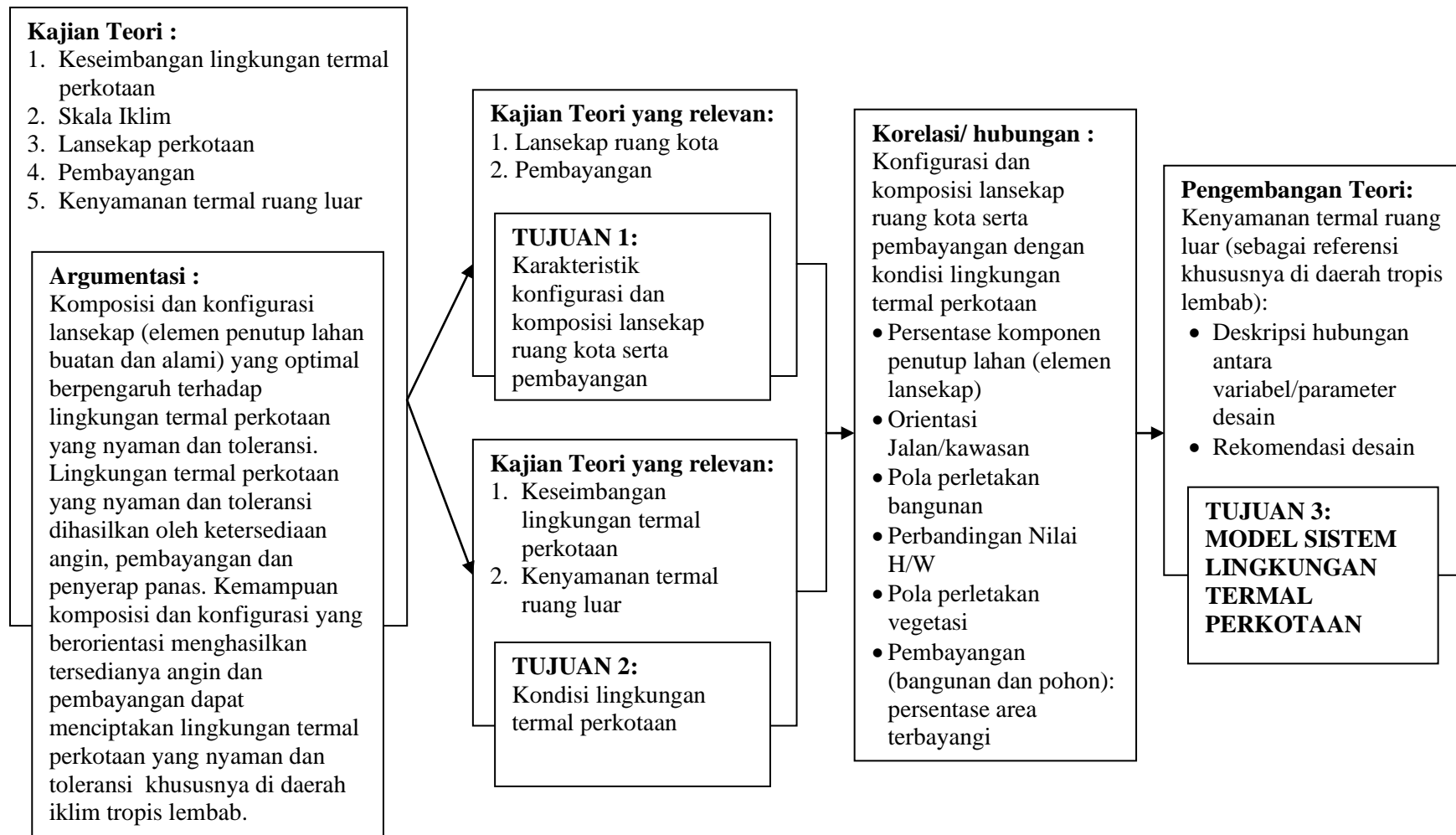
Teori oleh Lun dkk (2009) menjelaskan komponen tutupan lahan perkotaan tersebut baik berupa benda buatan manusia maupun alami, jika dilihat dari sifat termal (kapasitas panas/*heat capacity*, konduktivitas termal/*thermal conductivity*) dan radiasi (emisivitas, albedo) memiliki pengaruh terhadap kondisi termal perkotaan. Kedua komponen tutupan lahan (bangunan dan pohon) tersebut dapat menciptakan atau menghasilkan bayangan yang dapat menghalangi radiasi

matahari sampai ke permukaan (Lin dkk, 2010). Kondisi termal perkotaan yang dihasilkan bisa berupa peningkatan atau penurunan temperatur udara.

Konsep pembayangan digunakan sebagai salah satu konsep dasar dalam menentukan sistem termal perkotaan, sebagaimana yang dinyatakan oleh Shashua-Bar dkk (2000), Papadakis dkk (2001), Picot (2004), Emmanuel dkk (2007), Gómez-Muñoz dkk (2010), Shahidan dkk (2010) bahwa pendinginan pasif pada lingkungan luar perkotaan dan penghematan energi dalam bangunan dapat dipengaruhi oleh unsur geometri dan karakteristik dari pepohonan yang dapat menghasilkan bayangan.

Untuk melihat pengaruh konfigurasi, komposisi serta pembayangan yang dihasilkan oleh lansekap ruang kota terhadap sistem termal perkotaan, dianalisis dengan konsep kenyamanan termal. Menurut ASHRAE 1997 dalam Johansson (2006) kenyamanan termal dapat didefinisikan sebagai kondisi perasaan dalam pikiran seseorang yang mengekspresikan kepuasan dirinya terhadap lingkungan termal. Namun, respon termal setiap individu akan kebutuhan tingkat kenyamanan sangat beragam. Dari berbagai hasil penelitian, pada umumnya kenyamanan termal merupakan proses yang melibatkan proses fisik, fisiologis dan psikologis. Menurut Allard (1998) kenyamanan termal dipengaruhi oleh beberapa faktor, yaitu : faktor fisik (*physical* parameter) : temperatur udara, kelembaban udara dan kecepatan udara, faktor fisiologis (*physiological* parameter) : umur, jenis kelamin, dan hal yang berkaitan dengan metabolisme manusia dan faktor eksternal : aktivitas, pakaian dan kondisi sosial.

Penilaian kenyamanan termal ruang luar menggunakan indeks termal PET (*Physiologically Equivalent Temperature*) (Hoppe, 1999). Nilai PET dipengaruhi oleh 4 (empat) variabel iklim : temperatur udara ( $T_a$ ), kelembaban udara (RH), kecepatan angin ( $V$ ) dan temperatur radiasi ( $T_{mrt}$ ) dan variabel thermo-physiological: pakaian dan aktivitas manusia. Dapat dihitung dengan menggunakan simulasi komputer ENVI-met BioMet V1.01 (Bruse, 2009). Selain itu juga melihat kenyamanan termal ruang luar oleh Sangkertadi (2013). Persamaan regresi kenyamanan termal ruang luar pada kegiatan manusia berjalan normal, dengan mempertimbangkan variabel iklim : kecepatan angin ( $V$ ), temperatur udara ( $T_a$ ), temperatur bola hitam ( $T_g$ ), kelembaban relatif (RH) dan



Gambar 2.31 Alur Pikir Kajian Teori Terkait Tujuan Penelitian

kondisi manusia berupa luas kulit tubuh. Kenyamanan termal untuk ruang luar di lingkungan yang hangat dan lembab adalah spesifik, dan berbeda dengan iklim lainnya. Di mana massa angin yang menyentuh tubuh manusia dapat mempengaruhi rasa nyaman ruang luar secara signifikan khususnya di daerah tropis lembab (Sangkertadi, 2014).

**Halaman ini sengaja dikosongkan**

## **BAB 3**

### **METODE PENELITIAN**

#### **3.1 Paradigma dan Metode Penelitian**

Fokus penelitian adalah menganalisa dan mengkaji seberapa besar pengaruh konfigurasi dan komposisi lansekap ruang kota serta pembayangan yang dihasilkan oleh komposisi dan konfigurasi lansekap ruang kota terhadap sistem lingkungan termal perkotaan di daerah tropis lembab. Dengan tujuan akhir menghasilkan model sistem lingkungan termal perkotaan. Berdasarkan fokus dan tujuan penelitian di atas, maka penelitian ini lebih kearah paradigma postpositivistik. Selain itu, penelitian ini juga bergantung pada manipulasi fenomena yang diukur dengan angka. Menurut Groat dan Wang (2002), penelitian seperti ini dikategorikan sebagai penelitian kuantitatif.

Pemilihan paradigma postpositivistik pada penelitian ini didasarkan pada pertimbangan sebagai berikut (Groat dan Wang, 2002) :

- Mengutamakan Validasi Internal dan Eksternal

Penelitian ini menggunakan standar nilai kebenaran berupa validitas internal melalui pengujian kesamaan data berupa konfigurasi dan komposisi lansekap ruang kota serta kondisi termal yang terjadi sesuai dengan kondisi nyata atau fenomena yang terjadi. Validitas eksternal didapatkan melalui penggunaan hasil penelitian dari kondisi nyata pada kondisi yang berbeda atau digeneralisasi.

- Mengutamakan Objektivitas

Penelitian ini mengutamakan objektivitas melalui prosedur penelitian yang relevan menggunakan instrument yang terukur sehingga menghasilkan penelitian yang konsisten dan teruji. Obyektivitas tersebut akan dicapai melalui proses deduksi yang penjelasannya akan dicari melalui hubungan sebab akibat. Dalam hal ini hubungan sebab akibat itu terlihat pada komposisi, konfigurasi dan pembayangan lansekap (sebab) terhadap sistem lingkungan termal perkotaan (akibat).

Penelitian ini menggunakan tiga kombinasi metode penelitian, yaitu metode survei lapangan, metode simulasi dan eksperimen. Untuk metode analisa

data menggunakan metode penelitian korelasional. Penelitian korelasional ini bertujuan untuk mendeteksi atau mengungkap sampai sejauh mana variabel-variabel pada suatu faktor berkait atau berkorelasi dengan variabel-variabel lainnya (Groat dan Wang, 2002). Hal ini sesuai dengan tujuan penelitian yang telah disebutkan di atas. Koleksi data didapat dari survei lapangan, studi peta dan simulasi, yaitu untuk pengidentifikasian komposisi dan konfigurasi lansekap ruang kota dan pengukuran langsung elemen iklim di site yang telah ditentukan. Dalam pandangan Groat dan Wang (2002) pengkoleksian data seperti ini merupakan taktik dalam metode penelitian korelasi.

Penelitian dengan topik *UHI*, lansekap perkotaan, dan kenyamanan termal sudah lazim menggunakan metode seperti ini. Pada dasarnya tema-tema tersebut selalu berkaitan dengan temperatur udara yang dirasakan di suatu perkotaan serta sebagai akibat dari jenis penggunaan penutup lahan yang merupakan lansekap ruang kota. Hasil penelitian terdahulu seringkali mengungkap masalah bagaimana pengaruh, keterkaitan, dan hubungan dari faktor-faktor atau variabel-variabel yang mendukung pada penelitian tema-tema tersebut.

Sebagai contoh, Oke (1976) menggunakan metode penelitian korelasi untuk mencari hubungan seberapa besar pengaruh kecepatan angin terhadap perbedaan temperatur yang terjadi di perkotaan dan pedesaan. Dalam penelitiannya, koleksi data didapat dengan cara melakukan survei lapangan berupa pengukuran langsung di lapangan. Kemudian data yang ada dianalisis dengan menggunakan cara statistik. Hal serupa juga dilakukan oleh Li dkk (2011) untuk mengetahui pengaruh dari struktur lansekap terhadap terjadinya *UHI* dan Shasua-Bar dkk (2000) untuk mengetahui pengaruh dari bayangan pohon terhadap temperatur permukaan udara sekitarnya.

Demikian juga Sangkertadi (2013), untuk mengetahui persepsi kenyamanan termal dilakukan metode kuantitatif. Hal ini disebabkan karena persepsi kenyamanan termal seseorang sangat terkait langsung dengan angka-angka (nilai kuantitatif) iklim mikro yang menerpa dirinya, yakni besar kecilnya angka-angka suhu udara, radiasi matahari, kelembaban, kecepatan angin, bahkan terkait pula dengan ukuran tubuh dan angka metabolisme basal serta faktor jenis

pakaiannya. Oleh karena itu pendekatan kuantitatif akan lebih mendekati kebenaran secara analitis dibandingkan dengan cara dugaan melalui sketsa skematik saja.

Simulasi merupakan penggambaran dari suatu perilaku atau karakteristik suatu sistem melalui penggunaan sistem lain, terutama dengan program komputer yang didesain untuk tujuan tersebut. Secara umum penggunaan metode simulasi dalam sebuah penelitian bertujuan untuk memudahkan dan mempercepat perolehan hasil data dan proses analisa. Metode simulasi memiliki daya tarik dan keterbatasannya sendiri. Daya tarik metode ini terletak pada konteks simulasi yang menjanjikan pandangan dunia nyata dari kondisi hipotesis, namun secara bersamaan keterbatasannya terletak pada “*holism*” dari proses simulasi yang disengaja tidak selalu bisa ditiru dengan memuaskan (Groat dan Wang, 2002).

Secara umum penggunaan program simulasi dalam sebuah penelitian berguna untuk memudahkan dan mempercepat para peneliti dalam memperoleh hasil data dan proses analisa. Berdasarkan penelitian terdahulu dengan tema penelitian yang sama, penggunaan simulasi komputer ENVI-met digunakan untuk menganalisa kondisi iklim mikro dan kenyamanan termal ruang luar di suatu perkotaan (Bruse, 2006; Ali-Toudert, 2005; Johansson, 2006, 2012; Spangenberg 2008, Kakon, 2012; Juhana, 2013; Paramita dkk, 2014).

Menurut Mirzaei dkk (2010) saat ini, metode yang digunakan untuk studi *UHI* dikategorikan sebagai fenomena yang berskala multi (*multi-scale*). Dengan demikian banyak cara yang dapat dilakukan untuk memperoleh data yang diperlukan dalam sebuah penelitian. Dalam hal ini, berdasarkan penelitian sebelumnya, data-data penelitian atau koleksi data diperoleh dengan cara pendekatan observasi seperti pengukuran di lapangan, menggunakan sistem penginderaan jauh termal, dan dalam skala kecil berupa pemodelan, yaitu simulasi komputer.

Wong dkk (2003; 2005) menjelaskan pengumpulan data dengan cara survei lapangan ini merupakan cara umum yang sering dilakukan oleh peneliti-peneliti sebelumnya. Tujuan dari studi lapangan ini untuk mengetahui dan menemukan karakteristik dari kondisi lapangan yang nyata. Selain itu survei lapangan juga mendukung untuk melakukan penelitian yang menggunakan



metode penelitian simulasi. Fenomena *UHI* tidak terlepas dari adanya batas iklim mikro perkotaan yang sangat dinamis dan kompleks, baik karena kondisi iklim makro maupun kondisi perubahan fisik perkotaan. Setiap perubahan tersebut mengakibatkan perubahan temperatur udara di sekitarnya, karena adanya pola pergerakan angin dan paparan radiasi matahari.

## **3.2 Variabel Penelitian**

### **3.2.1 Jenis Variabel**

Dari kajian pustaka dan hasil penelitian sebelumnya, didapat variabel-variabel penelitian yang akan digunakan untuk mengetahui pengaruh pembayangan dan komposisi serta konfigurasi lansekap ruang kota dalam sistem termal perkotaan, yaitu berupa variabel terikat, variabel bebas dan kontrol, sebagai berikut:

1. Variabel terikat adalah variabel yang dipengaruhi oleh variabel bebas dan merupakan variabel yang diamati. Pada penelitian ini variabel terikat yang akan diteliti, yaitu:
  - a. Kondisi termal: temperatur udara, kelembaban, kecepatan angin, dan intensitas radiasi matahari
2. Variabel bebas adalah variabel yang mempengaruhi variabel terikat. Pada penelitian ini variabel bebas yang akan diteliti, yaitu:
  - a. Komposisi dan konfigurasi lansekap ruang kota
  - b. Pembayangan yang dihasilkan komposisi dan konfigurasi lansekap ruang kota
3. Variabel kontrol adalah sebagai penjelasan alternatif pengaruh terhadap variabel terikat. Pada penelitian ini variabel kontrol yang akan diteliti, yaitu:
  - a. Frekuensi arus lalu lintas kendaraan bermotor
  - b. Jarak antara posisi kendaraan dan zona-zona yang telah ditentukan

### **3.2.2 Definisi Operasional Variabel**

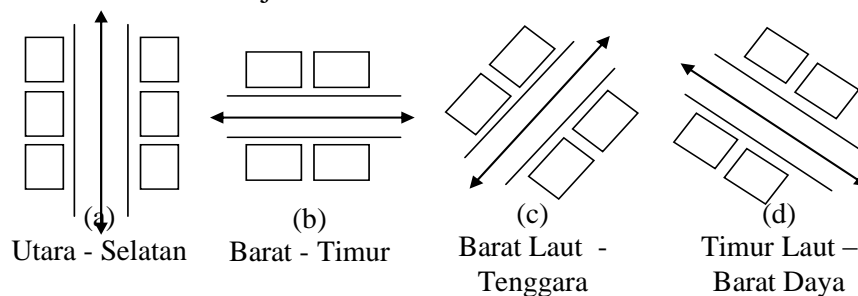
Definisi operasional variabel dilakukan untuk memperjelas makna dari variabel-variabel yang akan digunakan pada penelitian ini. Penjelasan definisi variabel-variabel adalah sebagai berikut :

1. Kondisi termal berupa kondisi temperatur udara ( $^{\circ}\text{C}$ ), kelembaban (%), kecepatan angin (m/s), intensitas radiasi matahari ( $\text{Watt/m}^2$ ). Pengukuran masing-masing elemen iklim ini pada waktu yang bersamaan di setiap zona-zona yang telah ditentukan dalam penelitian ini.
2. Komposisi dan konfigurasi lansekap ruang kota, yaitu:

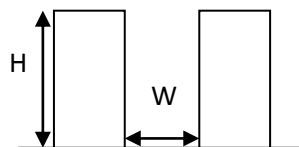
- a. Komposisi merupakan kelimpahan dan berbagai fitur tutupan lahan. Parameter desain yang digunakan adalah komponen penutup lahan berupa proporsi jenis tutupan lahan yang berbeda (%) yang terdiri dari penutup lahan buatan (PLB) seperti aspal, paving, penutup lahan alami (PLA) seperti tanah, rumput air, pohon (P) dan bangunan (B).
- b. Konfigurasi merupakan karakteristik spasial, pengaturan, posisi, dan kompleksitas penutup lahan.

Kemudian dilakukan pendekatan zona iklim lokal (*Local Climate Zone/LCZ*) untuk menentukan tipe lansekap yang ada di lapangan. Parameter desain yang digunakan adalah :

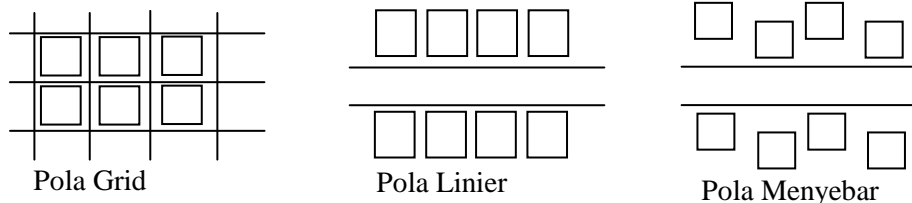
- Orientasi jalan/kawasan. Untuk menentukan orientasi kawasan ditentukan berdasarkan orientasi jalan.



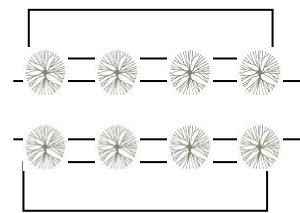
- Rasio H/W merupakan perbandingan tinggi bangunan dan jarak antar bangunan.



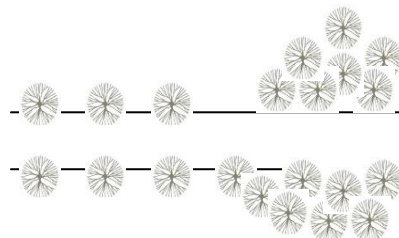
- Perletakan dan pola bangunan.



- Perletakan dan pola vegetasi.



Pohon di sepanjang jalan



Pohon secara Berkelompok

3. Pembayangan yaitu hasil persentase dari area yang terbayangi dan tidak terbayangi pada kondisi waktu mulai terbit dan terbenamnya matahari.
4. Frekuensi arus lalu lintas kendaraan bermotor yaitu tingkat kepadatan kendaraan pada suatu koridor jalan. Pada saat di lapangan hanya mengkategorikan arus lalu lintas kendaraan padat, sedang dan rendah (tidak padat). Pada saat simulasi arus lalu lintas ditiadakan (dijelaskan lebih lanjut pada tahap simulasi).
5. Jarak antara posisi kendaraan dan zona-zona yang telah ditentukan yaitu jarak antara titik pengukuran dan koridor jalan yang dilewati kendaraan.

### 3.3 Metode Survei Lapangan

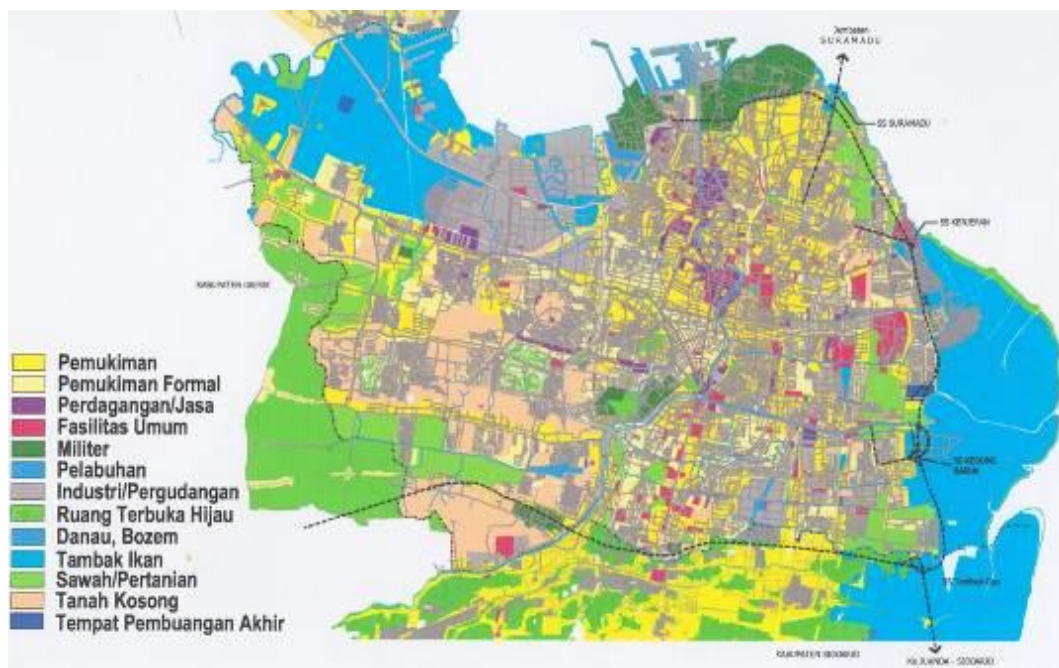
Terkait dengan penelitian korelasional, strategi survei lapangan bertujuan untuk mengidentifikasi awal karakteristik komposisi, konfigurasi dan pembayangan yang dihasilkan oleh lansekap perkotaan. Serta kondisi iklim mikro di setiap tipe lansekap yang telah ditentukan.

#### 3.3.1 Lokasi Penelitian

Lokasi penelitian dilakukan di kota Surabaya. Secara geografis Surabaya terletak pada garis Lintang Selatan antara  $7^{\circ}9'-7^{\circ}21'$ , dan  $112^{\circ}36'-112^{\circ}57'$  Bujur Timur. Luas wilayah kota Surabaya adalah 33.048 Ha. Secara umum keadaan topografi kota Surabaya memiliki ketinggian tanah berkisar 0-20 meter di atas permukaan laut. Tetapi dalam topografinya, kondisi tersebut membedakan secara tegas antara bagian Timur, Utara, Selatan dengan bagian Barat. Barat lebih tinggi dari pada Timur, Utara dan Selatan. Kota Surabaya bagian timur, utara, selatan dan pusat kota memiliki ketinggian tanah 0-10 meter, sedangkan kota Surabaya

bagian barat memiliki ketinggian 10-20 meter dan 20 meter di atas permukaan laut (RTRW kota Surabaya, 2015).

Berdasarkan pada kondisi, karakteristik, dan potensi yang dimiliki pada masing-masing wilayah, rencana struktur ruang wilayah darat kota Surabaya dibagi dalam 3 klasifikasi Unit Pengembangan (UP), yaitu UP inti, transisi dan pinggiran. Di setiap unit pengembangan tersebut memiliki lansekap ruang kota yang berbeda-beda, yang dapat dilihat pada jenis penggunaan lahan. Gambar 3.1 menunjukkan peta jenis penggunaan lahan dan lokasi penelitian.



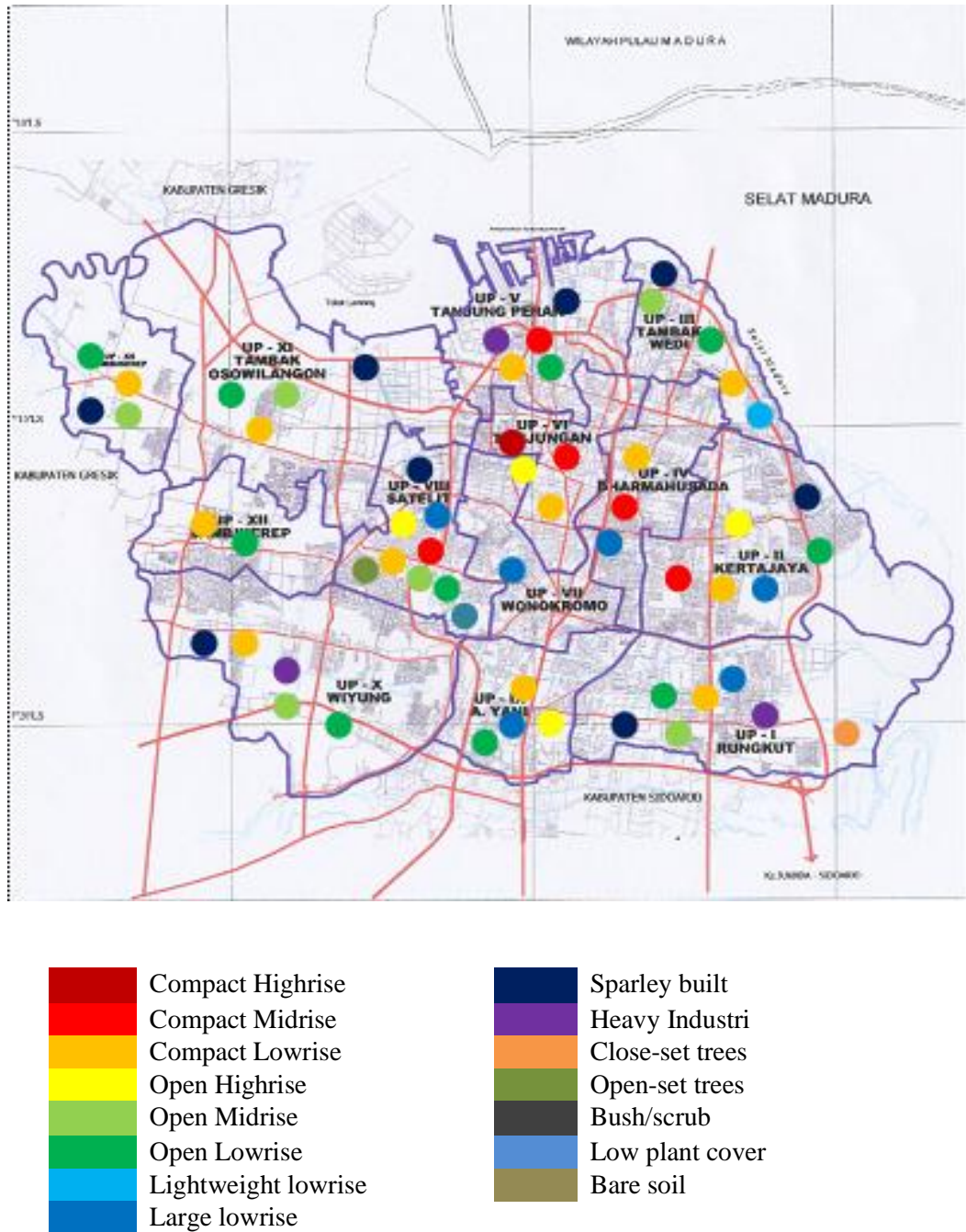
Gambar 3.1 Peta Penggunaan Lahan Kota Surabaya (Executive Summary RTRW Surabaya, 2015)

### 3.3.2 Penentuan Objek Penelitian

Pengambilan kriteria ini berdasarkan tipe lansekap oleh Hopper (2007) dan pendekatan zona iklim lokal (*Local Climate Zone/LCZ*) oleh Stewart & oke (2009, 2012) yaitu berupa zona *built area* dan zona *natural*, yang berskala  $10^2$ - $10^4$  meter. Adapun penentuan objek penelitian ini dilakukan melalui beberapa tahap, yaitu :

1. Tahap pertama yang dilakukan yaitu pemetaan (*mapping*) tipe lansekap berdasarkan fungsi penggunaan lahan kota Surabaya (RTRW Surabaya 2015)

(Gambar 3.2). Berdasarkan hasil *mapping* tipe lansekap tersebut, kota Surabaya memiliki semua kriteria tipe lansekap yang berdasarkan Zona Iklim Lokal (Tabel 3.1).



Gambar 3.2 Pemetaan (*mapping*) tipe lansekap di kota Surabaya (Diadaptasi dari Executive Summary RTRW Surabaya, 2015)

Tabel 3.1 Pemetaan (*mapping*) tipe lansekap di kota Surabaya

Tipe Lansekap (Lokal Iklim Mikro / LCZ)	Surabaya Utara	Surabaya Timur	Surabaya Selatan	Surabaya Barat
Compact highrise	-	-	-	-
Compact Midrise	√	√	√	√
Compact Lowrise	√	√	√	√
Open Highrise	-	√	-	√
Open Midrise	√	√	√	√
Open Lowrise	√	√	√	√
Lightweight Lowrise	-	-	-	-
Extensive Lowrise	√	√	√	√
Dispersed Lowrise		√	-	√
Heavy Industri	√	√	√	-
Close-set Trees	-	-	-	-
Open-set Trees	√	√	√	√
Bush/scrub	√	-	-	√
Low Plant Cover	√	-	-	√
Bare Soil	√	-	-	-




- Langkah kedua diperkuat berdasarkan skala iklim mikro dan iklim site dengan cakupan wilayah  $\pm 10$  km. Hal ini kaitannya dengan bentang alam, seperti ketinggian tanah, kemiringan, dan kedataran serta jarak suatu kota dari laut. Jarak suatu kota dari laut mempengaruhi tingkat kecepatan angin dan temperatur udara (Givoni, 1998). Kemudian penelitian Arsa, dkk (2010) terkait sebaran ruang terbuka hijau di kota Surabaya, dan Antaryama, dkk (2010) terkait varian temperatur udara di kota Surabaya.

Dari beberapa tahap di atas, dapat disimpulkan bahwa hampir 80% lokasi objek penelitian ini berada di wilayah Surabaya bagian Barat (Gambar 3.3 dan Tabel 3.2). Letak daerah Surabaya Barat juga berada jauh dari laut dibandingkan wilayah bagian Utara, Timur dan Selatan, sehingga berdampak pada perubahan iklim mikro. Hasil penelitian Arsa dkk juga mendeskripsikan bahwa Surabaya Barat memiliki ruang terbuka hijau terbanyak. Kemudian Antaryama dkk juga mendeskripsikan bahwa Surabaya bagian barat cenderung memiliki varian temperatur udara lebih rendah dibandingkan bagian wilayah Surabaya lainnya.




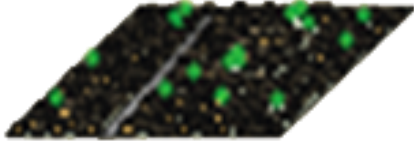



Tabel 3.2. Pembagian Tipe lansekap pada Objek Penelitian




No	Tipe Lansekap (Hopper, 2007)	Zona Iklim Lokal (Stewart, 2009)	Deskripsi Lokasi Penelitian		
			Objek	Luas	Keterangan
1.	Residential Street	<i>Compact lowrise</i>	√	Radius 100m	Seperti kawasan perumahan 
		<i>Open-set lowrise</i>	√	Radius 100m	Seperti kawasan perumahan 
		<i>Dispersed lowrise</i>	√	Radius 100m	Seperti kawasan perumahan yang masih dalam pengembangan 







Tabel 3.2. Pembagian Zona Iklim Lokal pada Objek Penelitian .....(Lanjutan)

No	Tipe Lansekap (Hopper, 2007)	Zona Iklim Lokal (Stewart, 2009)		Deskripsi Lokasi Penelitian	
		Built Series	Objek	Luas	Keterangan
		<i>Open-set highrise</i>	√	Radius 100m	Seperti kawasan apartemen
					
2.	<i>Residential Road</i>	<i>Lightweight lowrise</i>	-	-	Tidak Ada di lapangan
					
3.	<i>Commercial Street</i>	<i>Compact highrise</i>	-	-	Tidak Ada di lapangan
					



Tabel 3.2. Pembagian Zona Iklim Lokal pada Objek Penelitian..... (Lanjutan)

No	Tipe Lansekap (Hopper, 2007)	Zona Iklim Lokal (Stewart, 2009)		Deskripsi Lokasi Penelitian	
		Built Series	Objek	Luas	Keterangan
	Commercial Street	Compact midrise	√	Radius 100m	 Seperti kawasan pertokoan
		Open-set midrise	√	Radius 100m	 Seperti kawasan pertokoan
		Extensive lowrise	√	Radius 100m	 Seperti kawasan mall
		Industrial Processing	-	-	Tidak Ada di lapangan

Tabel 3.2. Pembagian Zona Iklim Lokal pada Objek Penelitian..... (Lanjutan)

No	Tipe Lansekap (Hopper, 2007)	Zona Iklim Lokal (Stewart, 2009)	Deskripsi Lokasi Penelitian		
		Built Series	Objek	Luas	Keterangan
Natural Series					
4.	Avenue	-	-	-	-
5.	Boulevard	Open-set trees	√	Radius 100m	Seperti taman dan koridor jalan yang ditanami pepohonan
					
6.	Rural Road	Close-set trees	-	-	Tidak Ada di lapangan
					
		Bush/Scrub	-	-	Tidak Ada di lapangan
					

Tabel 3.2. Pembagian Zona Iklim Lokal pada Objek Penelitian..... (Lanjutan)

No	Tipe Lansekap (Hopper, 2007)	Zona Iklim Lokal (Stewart, 2009)	Deskripsi Lokasi Penelitian		
			Objek	Luas	Keterangan
		<i>Low plant cover</i>	-	-	Tidak Ada di lapangan
					
		<i>Bare soil</i>	-	-	Tidak Ada di lapangan
					

Berdasarkan pembagian tipe lansekap tersebut, berdasarkan dengan tahap kriteria penentuan objek penelitian di atas, maka hanya 8 (delapan) tipe lansekap yang akan dijadikan objek penelitian, yaitu: *Open-set Highrise* (OSH), *Open-set Midrise* (OSM), *Open-set Lowrise* (OSL), *Open-set Trees* (OST), *Compact Midrise* (CM), *Compact Lowrise* (CL), *Dispersed Lowrise* (DL), dan *Extensive Lowrise* (EL).

### 3.3.3 Koleksi Data

#### 1. Jenis Data

Data yang diperlukan dalam penelitian ini diperoleh berdasarkan variabel yang telah ditetapkan, kemudian digolongkan menjadi dua yaitu data primer dan data sekunder, yaitu: (Tabel 3.3)

1. Data primer merupakan data utama yang diperlukan dalam proses penelitian. Data ini diperoleh dengan melakukan survei lapangan, yang meliputi:
  - a. Data kondisi termal: iklim mikro dari kawasan lansekap ruang kota yang diteliti berupa temperatur udara, kelembaban, kecepatan angin, intensitas radiasi matahari
  - b. Data komposisi dan konfigurasi lansekap ruang kota
  - c. Data pembayangan
2. Data sekunder merupakan data penunjang yang diperlukan untuk melengkapi data primer, yang meliputi:
  - a. Data iklim makro kota Surabaya berupa temperatur udara, kelembaban, kecepatan angin, dan radiasi matahari selama dalam kurun waktu 5 tahun terakhir (2007-2011) yang didapat dari Badan Meteorologi, Klimatologi dan Geofisika kota Surabaya.
  - b. Data kawasan berupa peta penggunaan lahan (*land use*) dan penutup lahan (*land cover*).
  - c. Data peta distribusi panas dari masing-masing komposisi dan konfigurasi lansekap ruang kota.

#### 2. Teknik Pengumpulan Data

Teknik pengumpulan data yang dilakukan adalah pengukuran di lapangan, studi peta dan simulasi komputer.

##### 1. Pengukuran lapangan

Pengukuran lapangan dilakukan untuk mendapatkan karakteristik dan data-data kuantitatif berupa data komposisi dan konfigurasi lansekap ruang kota, serta pembayangan yang dihasilkan oleh komposisi dan konfigurasi lansekap kota tersebut. Kemudian dilakukan pengukuran elemen iklim mikro berupa temperatur

udara, kelembaban, kecepatan angin dan radiasi matahari di setiap zona penelitian (Gambar 3.4).

Langkah-langkah yang dilakukan sebelum pengukuran di lapangan adalah sebagai berikut:

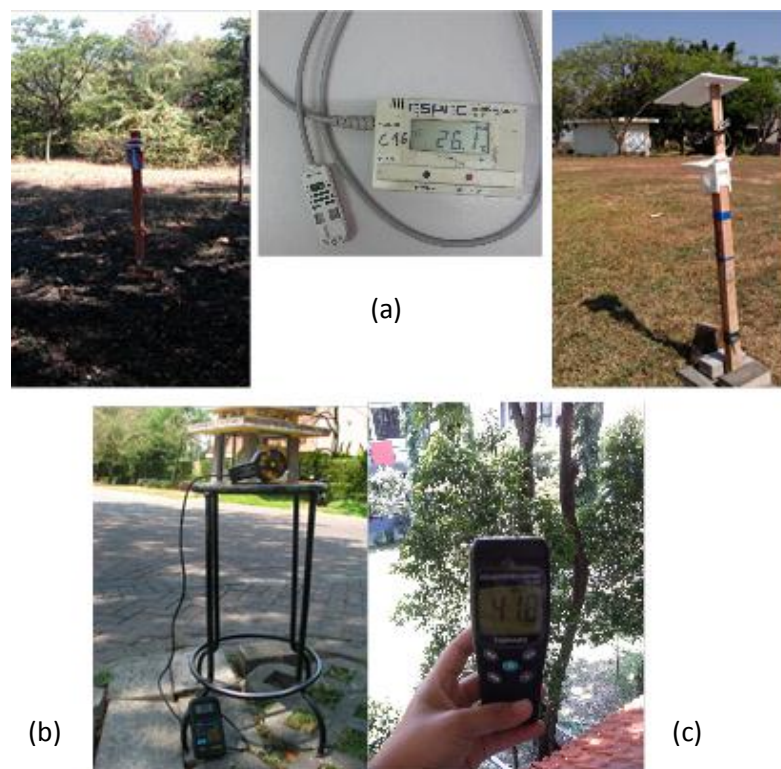
- a. Melakukan reliabilitas dan validitas alat ukur (Bungin, 2005).

Reliabilitas alat ukur adalah kesesuaian alat ukur dengan yang diukur, sehingga alat ukur itu dapat dipercaya atau dapat diandalkan (Tabel 3.2). Validitas alat ukur adalah akurasi alat ukur dengan cara mengkalibrasikan antar alat ukur.

- b. Penentuan waktu pengukuran di lapangan

Waktu yang ditetapkan dalam pengukuran ini berdasarkan hasil pengukuran data iklim BMKG kota Surabaya tahun 2007-2011. Pengukuran dilakukan selama 7 hari pada bulan-bulan yang memiliki temperatur tertinggi/ terpanas (Oktober) dan temperatur terendah/ terdingin (Juli).

- c. Pembuatan lembar observasi untuk mendukung pencatatan dan perekaman hasil pengukuran di lapangan (Lampiran 3.1).



Gambar 3.4 Pengukuran Survei Lapangan : (a) Temperatur dan Kelembaban Udara, (b) Kecepatan Angin dan (c) Intensitas Radiasi Matahari

## 2. Studi Peta

Studi peta dilakukan untuk mengetahui kondisi atau gambaran eksisting dari suatu kawasan dengan menggunakan peta *landuse*. Selain itu juga untuk menyelidiki dan mengidentifikasi jenis tutupan lahan pada setiap tipe lansekap, sehingga dapat dijelaskan tentang prosentase dari masing-masing komponen penutup lahan.

Tabel 3.3. Jenis dan Teknik Pengambilan Data

No	Jenis Data	Teknik Pengumpulan Data	Alat pengambilan Data	Waktu Pengamatan
<b>Data Primer</b>				
1.	Data Iklim: • Temperatur • Kelembaban • Kecepatan angin • Intensitas radiasi matahari	• Pengukuran di lapangan • Simulasi ENVI-met versi 3.1 • Pencatatan	• Timer • Termometer • Hygrometer • Anemometer • Pyranometer	7 X 24 jam
2.	Data pembayangan: • Waktu terjadinya bayangan • Prosentase luas hasil bayangan	• Pengukuran di lapangan • Dokumentasi • Pencatatan • Simulasi	• Kamera digital • Alat tulis dan gambar • Simulasi Sketch-up • Simulasi Ecotect	Pada waktu pagi, siang dan sore hari selama 7 hari sesuai pengukuran data iklim
3.	Data konfigurasi dan komposisi lansekap ruang kota	• Pengukuran di lapangan • Dokumentasi • Pencatatan	• Kamera digital • Alat tulis dan gambar	3 kali dalam seminggu
<b>Data Sekunder</b>				
1.	Data iklim makro kota Surabaya	• BMKG kota Surabaya	-	Tahun 2007-2011
2.	Data peta Penggunaan lahan	• Komputerisasi: simulasi dan perhitungan komputer	Pemerintah	Tahun 2011

## 3. Simulasi Komputer

Penelitian ini menggunakan dua simulasi yaitu simulasi Revit dan simulasi ENVI-met versi 3.1. (1) Simulasi Revit dilakukan untuk membantu dalam permodelan pada tipe lansekap ruang kota berupa komposisi dan konfigurasi untuk menentukan persentase proporsi dari setiap komponen penutup

lahan dan hasil bayangan yang diperoleh serta bisa melihat posisi matahari. Tahap simulasi ini dilakukan setelah pengukuran di lapangan. (2) simulasi ENVI-met digunakan untuk mengetahui kenyamanan termal ruang luar di setiap tipe lansekap tersebut. Output dari stimulasi ENVI-met : temperatur udara (°C), kelembaban udara (%), kecepatan angin (m/s), temperatur radiasi (°C) dan PET (°C). Proses penggunaan simulasi ENVI -met v.3.1 dan ENVI -met biomet v.1 terlampir pada Lampiran 3.2.

### **3.4 Metode Simulasi**

Terkait dengan penelitian korelasional yang mencoba menjelaskan hubungan antara variabel-variabel terukur, yang berlainan dalam kondisi yang terjadi secara natural. Metode penelitian simulasi ini akan dilakukan dengan strategi sebagai berikut :

- a. Untuk menciptakan “tiruan” suatu objek secara keseluruhan dengan semua variabel relevan sesuai setting di dunia nyata. Tiruan tersebut mampu menunjukkan bagaimana fenomena pada sistem yang ada ‘dapat’ dan ‘seharusnya’ terjadi, meski tidak dapat menunjukkan bagaimana kondisi persis secara akurat.
- b. Untuk efisiensi waktu dari survei lapangan di setiap tipe lansekap sehingga mempercepat dan mempermudah dalam perolehan hasil data dan proses analisa selanjutnya. Khususnya penelitian ini dilakukan di dua waktu : musim terpanas (survei lapangan) dan terdingin (simulasi).
- c. Untuk memilih dan menetapkan variabel yang akan dikaji, dibandingkan pengukuran lapangan ada kemungkinan variabelnya banyak yang tidak terkontrol.
- d. Untuk analisa secara mendetail dan menyeluruh terhadap sistem termal perkotaan, agar dapat diketahui komponen penutup lahan yang mana yang paling berpengaruh dan seberapa luas sebaran pengaruhnya terhadap kenyamanan termal ruang luar.


Simulasi akan digunakan untuk mengkaji sistem termal perkotaan melalui pengujian berbagai konfigurasi dan komposisi lansekap ruang kota serta pembayangan yang dihasilkan oleh setting tersebut. Program Revit dan ENVI-met



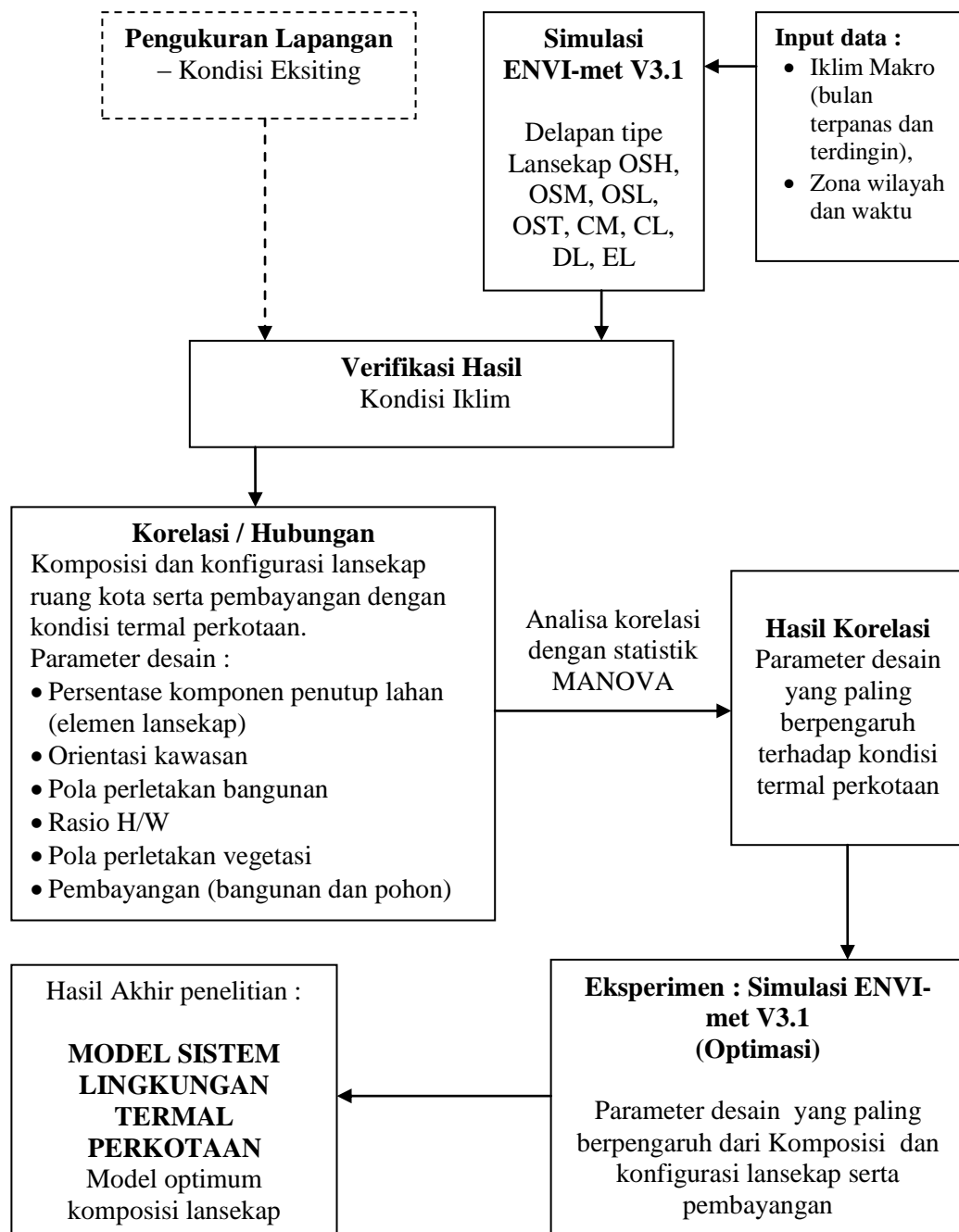
merupakan dua program simulasi yang akan digunakan dalam penelitian ini. Program Revit akan menciptakan pemodelan beberapa tipe komposisi dan konfigurasi lansekap serta memproyeksikan posisi matahari terhadap objek dan mensimulasikan perilaku pada waktu tersebut.

Berdasarkan tujuan strategi simulasi di atas, maka pembuatan model simulasi untuk kedelapan tipe lansekap tersebut akan dilakukan penyederhanaan model. Penyederhanaan model (Tabel 3.4) ini mengikuti *software* Envi-met, yang nantinya akan berpengaruh pada verifikasi antara hasil pengukuran lapangan dengan hasil simulasi. Jika terdapat perbedaan, hal ini didukung oleh penelitian-penelitian sebelumnya yang menyatakan bahwa terdapat perbedaan antara hasil pengukuran lapangan dan simulasi sekitar 2-4 °C (Bruse, 2009 ; Taleghani dkk, 2015).

Tabel 3.4 Penyederhanaan Model Simulasi ENVI-met untuk Kedelapan Tipe Lansekap

1. Komposisi lansekap (Komponen Penutup Lahan) Bangunan, aspal, paving, pohon, rumput dan tanah		
	Eksisting	Model Simulasi
Komposisi	Tidak ada perbedaan antara eksisting dan model simulasi: lebih kurang sama persentase setiap komponen penutup lahan	
Bangunan	Bangunan eksisting	Bangunan hanya bisa berupa blok dan beratap datar
Pohon	Pohon Eksisting 	Pohon yang digunakan mengambil kriteria yang menyerupai pohon pada eksisting : <ul style="list-style-type: none"><li>• Pohon dengan ketinggian 10, 15 dan 20 m. Ada yang kerapatan daun (LAD) yang lebat dan tidak.</li></ul>
Rumput	Rumput eksisting	Rumput yang digunakan mengambil kriteria yang menyerupai rumput pada eksisting : <ul style="list-style-type: none"><li>• Rumput padat dengan panjang 18cm.</li></ul>
Aspal, paving dan tanah	Tidak ada perbedaan antara eksisting dan model simulasi	
2. Konfigurasi lansekap orientasi jalan, nilai H/W, pola massa bangunan dan pola penataan vegetasi		
	Eksisting	Model Simulasi
	Tidak ada perbedaan antara eksisting dan model simulasi	
3. Panas Antropogenik Arus lalu lintas		
	Eksisting	Model Simulasi
Frekuensi arus lalu lintas	Di lapangan terdapat frekuensi arus lalu lintas	Frekuensi arus lalu lintas dihilangkan

Dalam ENVI-met V3.1 efek dari fluks gelombang panjang diperhitungkan hanya untuk tanah dan permukaan daun, sementara untuk bangunan tidak begitu diperhatikan (tidak menjadi perhatian utama) ([www.envi-met.com](http://www.envi-met.com)). Selain itu, untuk kondisi awan dianggap *cloud-free sky condition*. Hal ini akan berpengaruh pada proses pelepasan panas baik siang maupun malam hari. Gambar 3.5 menunjukkan skema tahapan simulasi.



Gambar 3.5 Skema Tahapan Simulasi

Penggunaan program simulasi ENVI-met ini sudah banyak digunakan para peneliti sebelumnya untuk menganalisa kondisi iklim mikro dan kenyamanan termal ruang luar di suatu perkotaan (Bruse, 2006; Ali-Toudert, 2005; Johansson, 2006, 2012; Spangenberg 2008, Kakon, 2012; Juhana, 2013; Paramita dkk, 2014). Simulasi ENVI-met merupakan model komputer tiga dimensi yang dirancang untuk menganalisa interaksi skala kecil antara desain perkotaan dan iklim mikro, yang pertama kali diperkenalkan oleh Michael Bruse pada tahun 1989. Simulasi ini didukung dengan memasukkan data input berupa geografis, meteorologi dan karakteristik fisik perkotaan (permukaan tanah, tanaman, bangunan) sehingga sangat mendukung dalam penganalisaan terhadap kondisi termal lingkungan perkotaan. Setiap tanaman dan struktur perkotaan dapat secara eksplisit disimulasikan, sehingga simulasi ini dapat menjadi alat yang sempurna bagi para perencana kota, arsitek, klimatologi perkotaan yang ingin mensimulasikan komponen klimatologi dari lingkungan perkotaan.

Output dari penggunaan simulasi ini berupa komponen klimatologi, misalnya dapat menghitung kenyamanan termal, dengan beberapa variabel: temperatur udara, kelembaban udara, kecepatan angin, temperatur radiasi rata-rata dan PET. Hasilnya dapat berupa nilai rata-rata dan nilai modus. Kedua nilai ini akan digunakan untuk menganalisa pengaruh lansekap dan bayangan terhadap sistem lingkungan termal perkotaan.

Berdasarkan hasil penelitian terdahulu, disebutkan bahwa selain kelebihan simulasi ENVI-met yang dapat menghasilkan klimatologi perkotaan, juga terdapat beberapa kelemahan. Bruse (2002) yang merupakan programmer dari ENVI-met menyatakan bahwa karena perbedaan fluks gelombang panjang vertikal tidak diperhitungkan, ini bisa mengakibatkan perbedaan temperatur sebesar 2-4°C. Hal demikian juga, Johansson (2006), Emmanuel dkk (2007), M. Taleghani dkk (2015) dalam hasil penelitiannya terdapat perbedaan temperatur udara dari hasil pengukuran lapangan dengan hasil simulasi ENVI-met. Dengan kecenderungan hasil pengukuran lapangan lebih tinggi dibandingkan hasil simulasi. Tabel 3.5 menunjukkan kelebihan dan kekurangan dari program simulasi ENVI-met V.3.1.

Tabel 3.5 Kelebihan dan Kekurangan Program Simulasi ENVI-met V.3.1

Keunggulan	Kelemahan / Keterbasan
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Dapat mensimulasikan secara aerodinamis, termodinamika dan keseimbangan radiasi dalam struktur perkotaan yang kompleks dengan resolusi (grid-ukuran) antara 0,5 meter dan 10 meter sesuai dengan posisi matahari, geometri perkotaan, vegetasi, tanah dan berbagai bahan konstruksi</li> <li>• Output dari simulasi cukup detail berupa komponen iklim mikro dan penilaian kenyamanan ruang luar</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Adanya penyederhanaan dalam pembuatan model</li> <li>• Untuk model bangunan, memiliki nilai albedo dan U-value dianggap sama untuk keseluruhan bangunan (dinding dan atap), tidak memperhitungkan massa termal bangunan dalam penyimpanan dan pembuangan panas bangunan. Kondisi ini tidak menguntungkan untuk bangunan berkepadatan tinggi</li> <li>• Tidak mampu mensimulasikan penyimpanan panas bangunan, karena setiap bangunan diberikan temperatur awal yang sama, yaitu dijaga konstan selama simulasi</li> <li>• Kondisi langit dianggap sama sepanjang hari (terang langit, tanpa berawan)</li> </ul>

Sumber: Bruse, 2006 ; Johansson, 2006 ; Spangenberg, 2008 ; Middel, Ariane dkk, 2014

### 3.5 Metode Eksperimen

Penelitian ini juga menggunakan metode eksperimen dengan simulasi komputer sebagai alatnya. Metode eksperimen merupakan metode yang memfokuskan pada hubungan sebab akibat melalui variabel-variabel yang telah ditetapkan dengan mengontrol dan menjaga koherensi penelitian (Groat dan Wang, 2002). Tujuan eksperimen ini dilakukan untuk menjelaskan model sistem lingkungan termal perkotaan khususnya di daerah tropis lembab. Model ini dijelaskan dari variabel yang diuji, yaitu hubungan sebab akibat antara komposisi dan konfigurasi lansekap serta pembayangan yang dihasilkan oleh lansekap terhadap kenyamanan termal ruang luar. Hasil akhirnya berdasarkan parameter desain yang paling mempengaruhi sistem termal perkotaan.

- Komposisi lansekap: Persentase komponen penutup lahan
- Konfigurasi lansekap: Hasil korelasi dari hasil simulasi yang menjelaskan parameter desain yang paling berpengaruh terhadap kenyamanan termal ruang luar
- Pembayangan yang dihasilkan oleh lansekap

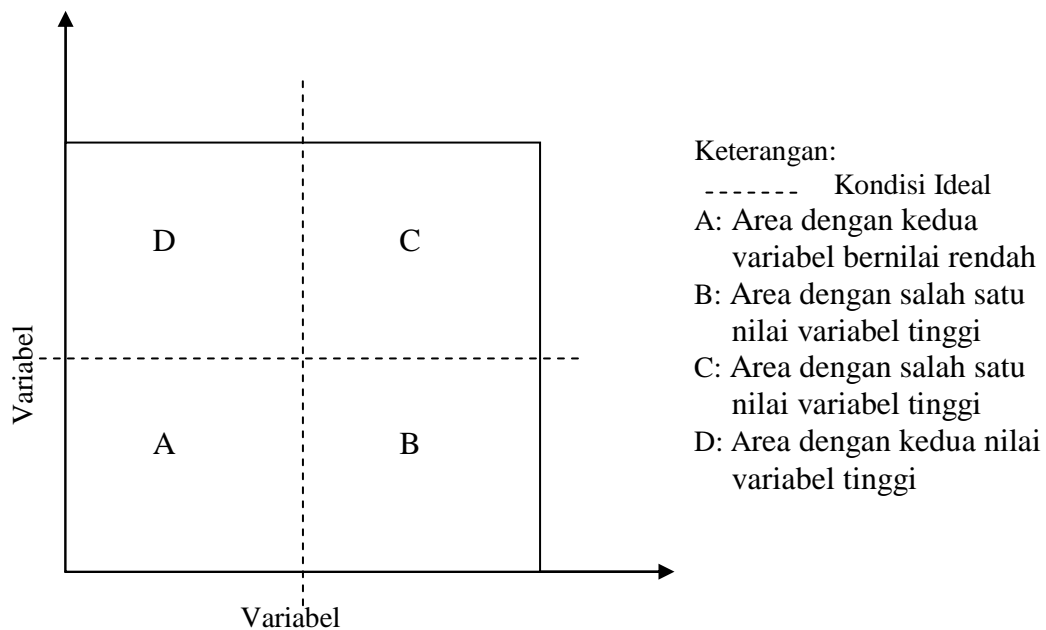
Asumsi rancangan model eksperimen akan diturunkan dari hasil pengukuran lapangan dan simulasi, yaitu dari variabel-variabel yang akan diuji. Gambaran umum rancangan model eksperimen dapat dikelompokkan berdasarkan modifikasi komponen penutup lahan, yaitu pengkondisian kelompok (1) penutup lahan buatan dan alami (PLB & PLA), (2) penutup lahan buatan (PLB), penutup lahan alami (PLA) dan pohon (P), (3) penutup lahan buatan (PLB), penutup lahan alami (PLA), pohon (P) dan bangunan (B). Asumsinya berdasarkan teori yang menjelaskan bahwa peningkatan dan penurunan persentase penutup lahan akan mempengaruhi kondisi temperatur udara. Eksperimen ini akan menghasilkan optimasi tipe lansekap berupa model optimum komposisi lansekap.

### **3.6 Optimasi**

Tujuan dari optimasi adalah untuk mendapat model sistem lingkungan termal perkotaan dengan mendeskripsikan parameter desain apa yang sangat mempengaruhi dan tipe lansekap apa yang paling optimum dalam mempengaruhi sistem lingkungan termal perkotaan yang dapat dijadikan sebagai rekomendasi desain khususnya untuk di daerah tropis lembab.

Variabel yang digunakan adalah berdasarkan hasil yang didapat dari analisa korelasi antara parameter desain dari hasil simulasi dan eksperimen. Batasan optimasi yang digunakan adalah zona kenyamanan termal ruang luar berdasarkan klasifikasi sensasi termal di Singapura (Wei, Yang, 2014).

Analisa optimasi dilakukan dengan Diagram Gradient sebagaimana yang digunakan oleh Antaryama dkk (2008); Noerwasito (2009); Susan (2013) (Gambar 3.6). Metode ini membagi kuadran menjadi empat bagian area, mulai dari area dengan kedua variabel bernilai rendah, area dengan salah satu nilai variabel tinggi, dan area dengan kedua nilai variabel tinggi. Hasil eksperimen pada tahap sebelumnya diplot pada diagram ini untuk mengetahui tipe lansekap mana yang paling optimal mempengaruhi kenyamanan termal ruang luar pada sistem lingkungan termal perkotaan khususnya di daerah tropis lembab.



Gambar 3.6 Diagram Gradient untuk Optimasi (Antaryama dkk, 2008; Noerwasito, 2009; Susan, 2013)

### 3.7 Tahapan Penelitian

Prosedur penelitian dibagi ke dalam beberapa urutan tahapan sebagai berikut: (Gambar 3.7)

#### 1. Tahapan Studi Literatur

Tahapan studi literatur ini bertujuan untuk menyusun teori tentang sistem termal perkotaan. Khususnya dalam penelitian ini sebagai dasar pemahaman terhadap lansekap ruang kota dan pembayangan terhadap kondisi termal perkotaan. Tahap ini dilakukan sebagai tahap identifikasi permasalahan, metode penelitian, variabel penelitian yang akan diteliti, penentuan objek penelitian dan analisa hasil penelitian.

#### 2. Tahapan Penentuan Metode Penelitian

Penentuan metode penelitian ini tidak terlepas dari tujuan utama penelitian, yaitu untuk melihat pengaruh pembayangan dan lansekap ruang kota terhadap sistem termal perkotaan. Berdasarkan hal tersebut pemilihan metode penelitian korelasi sangat tepat untuk mendukung dalam mengetahui pengaruh dan hubungannya dari variabel bebas terhadap variabel terikat.

### 3. Tahapan Pengumpulan dan Pengolahan Data

Pada tahapan ini ada dua jenis data yang diperlukan, yaitu data primer dan data sekunder. Pengumpulan data primer dilakukan dengan cara pengukuran di lapangan dan simulasi komputer, sedangkan data sekunder dikumpulkan melalui kepustakaan, peta dan potret udara. Adapun data-data yang diperlukan sebagai berikut:

- a. Data komposisi dan konfigurasi lansekap ruang kota yang diperlukan berupa karakteristik, fitur, persentase, ukuran dan luasan tutupan lahan dari masing-masing lokasi penelitian. Kemudian data pembayangan yang diperlukan berupa persentase dari area yang terbayangi dan tidak terbayangi pada kondisi waktu mulai terbit dan terbenamnya matahari.
- b. Data iklim mikro yang diwakili oleh temperatur udara, kelembaban udara, kecepatan angin dan intensitas radiasi matahari. Dilakukan pengukuran di lapangan selama 7x24 jam pada lokasi penelitian yang telah ditentukan yaitu pada daerah yang terbayangi dan tidak terbayangi. Kemudian dibantu dengan melakukan simulasi ENVI-met dengan tujuan bisa mensimulasikan dari tipe lansekap ruang kota pada bulan terdingin dan terpanas.
- c. Data iklim makro kota Surabaya dari BMKG yang digunakan untuk analisa kondisi makro kota Surabaya dan sebagai data input dalam proses simulasi
- d. Data peta penggunaan lahan yang digunakan untuk membantu dalam proses pengidentifikasian karakteristik komposisi dan konfigurasi lansekap.

### 4. Tahapan Verifikasi Data Hasil Pengukuran Lapangan dengan Simulasi

Tahap verifikasi data ini dilakukan untuk menyesuaikan data hasil lapangan dan hasil data simulasi. Penyesuaian ini berguna untuk penggunaan simulasi ke tahap selanjutnya, sehingga data hasil simulasi valid untuk proses analisa.

### 5. Tahapan Eksperimen

Tahap eksperimen merupakan tahap lanjutan dari simulasi. Data yang dihasilkan dari eksperimen digunakan untuk menjelaskan model sistem lingkungan termal perkotaan, berdasarkan dari parameter desain yang paling berpengaruh terhadap sistem lingkungan termal perkotaan.

## 6. Tahapan Analisa dan Pembahasan

Tahap analisa dan pembahasan merupakan tahap akhir pada penelitian ini. Pengolahan data hasil pengukuran lapangan, simulasi dan eksperimen dilakukan pada tahap ini. Data-data tersebut dianalisa dengan metode analisa korelasi untuk melihat hubungan antara parameter desain. Adapun tahap analisisnya sebagai berikut:

- a. Mengidentifikasi karakteristik dari komposisi dan konfigurasi lansekap ruang kota serta pembayangan yang dihasilkan oleh lansekap ruang kota tersebut.

Metode yang digunakan adalah melakukan survei lapangan. Akan tetapi, untuk data komposisi dan konfigurasi lansekap ruang kota didukung dengan data peta penggunaan lahan, sedangkan untuk data pembayangan dibantu dengan menggunakan simulasi *software* Revit.

- b. Mengkaji dan menganalisa pengaruh komposisi dan konfigurasi lansekap ruang kota serta pembayangan yang dihasilkan oleh komposisi dan konfigurasi lansekap ruang kota tersebut pada kondisi termal perkotaan.

Metode yang digunakan adalah metode korelasi dengan bantuan statistik berupa MANOVA. Metode ini digunakan untuk mengetahui seberapa jauh pengaruh yang dihasilkan dari komposisi dan konfigurasi serta pembayangan pada lansekap ruang kota terhadap kondisi lingkungan termal perkotaan. Parameter desain yang akan dianalisa : pengaruh komponen penutup lahan, orientasi kawasan, rasio H/W, perletakan dan pola bangunan, perletakan dan pola vegetasi, pola pembayangan dan panas antropogenik (kepadatan arus lalu lintas).

- c. Mengevaluasi dan merumuskan model sistem termal perkotaan.

Model yang dirumuskan merupakan deskripsi-deskripsi dari berbagai variabel dan menggabungkan pernyataan-pernyataan tentang hubungan-hubungan dinamis yang telah diduga di antara variabel-variabel. Dalam masing-masing kasus, bagaimanapun, model memberikan abstraksi dari berbagai kejadian di dunia nyata; mereka dapat digunakan untuk memprediksi kejadian-kejadian di masa depan terkait parameter tertentu (Moore and Marans, 1997).

Pada tahap akhir ini dilakukan evaluasi dari hasil penelitian dengan menggunakan metode eksperimen dengan bantuan simulasi, yaitu bagaimana pengaruh, hubungan dan keterkaitan dari komposisi dan konfigurasi lansekap



ruang kota tersebut serta pembayangan yang dihasilkan oleh komposisi dan konfigurasi lansekap ruang kota tersebut terhadap model sistem termal perkotaan. Evaluasi yang dilakukan yaitu menggunakan penilaian terhadap kenyamanan termal ruang luar PET khususnya di daerah tropis lembab. Selanjutnya dilakukan optimasi terhadap lansekap ruang kota dan pembayangan sehingga tercipta model sistem lingkungan termal perkotaan.

### **3.8 Teknik Analisa Data**

Analisis data dilakukan bertujuan untuk menjawab permasalahan dan mencapai tujuan penelitian, yaitu mengidentifikasi karakteristik komposisi, konfigurasi dan pembayangan pada lansekap ruang kota serta merumuskan model sistem termal perkotaan yang dipengaruhi oleh komposisi dan konfigurasi lansekap ruang kota serta pembayangan yang dihasilkan oleh komposisi dan konfigurasi lansekap ruang kota tersebut pada daerah iklim tropis lembab.

Berdasarkan penjelasan sebelumnya, hasil dan pembahasan pada penelitian ini menggunakan teknik analisis data berupa analisis deskripsi dan analisis korelasi. Adapun penjelasannya sebagai berikut:

#### **3.8.1 Analisa Deskripsi**

Tahapan analisa deskripsi ini dilakukan untuk mendeskripsikan atau menjelaskan karakteristik dari komposisi dan konfigurasi lansekap ruang kota serta pembayangan yang dihasilkan oleh lansekap ruang kota tersebut. Selain itu juga mendeskripsikan hubungan antara elemen iklim dan kondisi termal. Adapun tahapan analisisnya sebagai berikut:

##### **1. Analisa data iklim**

Data iklim yang akan dianalisa yaitu data iklim makro Surabaya dan data iklim mikro di setiap tipe lansekap. Data iklim makro digunakan untuk menentukan waktu ekstrim di sepanjang tahun yang akan digunakan untuk menentukan waktu pengukuran di setiap tipe lansekap dan untuk simulasi ENVI-met. Berdasarkan data iklim makro Surabaya, waktu yang digunakan yaitu bulan terpanas (Oktober) dan bulan terdingin (Juli). Data iklim mikro hasil pengukuran di lapangan akan digunakan untuk melihat korelasi antar elemen iklim mikro, kemudian dilihat hubungannya dengan pengaruh lansekap dan pembayangan.

Kemudian untuk memverifikasi data yang akan digunakan sebagai data input simulasi, yang selanjutnya akan dianalisa apakah hasil dari simulasi dapat diteruskan untuk mensimulasikan di setiap tipe lansekap yang akan dianalisa.

## 2. Analisa karakteristik kondisi permukaan lansekap

Analisis ini dilakukan untuk mengidentifikasi karakteristik dari komposisi dan konfigurasi lansekap ruang kota dengan pendekatan zona iklim lokal (*Local Climate Zone/LCZ*) (Stewart, 2009). Hasil analisa ini berupa karakteristik dari tipe lansekap berupa persentase dari masing-masing komponen penutup lahan, konfigurasi lansekap ruang kota (orientasi kawasan, pola perletakan bangunan, nilai H/W, pola perletakan vegetasi) dan persentase luas pembayangan.

## 3. Analisa pembayangan yang dihasilkan oleh lansekap

Pengidentifikasian karakter pembayangan dilakukan dengan bantuan simulasi *software* Revit. Hasil analisis ini berupa persentase pembayangan yang dihasilkan dari masing-masing komposisi dan konfigurasi lansekap ruang kota pada bulan terpanas dan bulan terdingin. Persentase hasil bayangan tersebut dipengaruhi oleh beberapa faktor, seperti posisi matahari, dimensi pepohonan (tinggi-rendahnya dan lebar kanopi pohon) dan H/W bangunan.

### 3.8.2 Analisa Korelasi

Korelasi merupakan teknik statistik yang digunakan untuk menguji ada/tidaknya hubungan serta arah hubungan dari dua variabel atau lebih. Analisa korelasi adalah bagian dari pengujian asosiatif dikarenakan analisis korelasi bertujuan mencari kekuatan, signifikansi, dan arah hubungan antara dua variabel. Di dalam teknik analisa korelasi ini dikenal dengan istilah nilai koefisien korelasi ( $r$ ), yaitu sebagai nilai hubungan atau korelasi antara dua atau lebih variabel yang diteliti. Nilai koefisien korelasi digunakan sebagai pedoman untuk menentukan suatu hipotesis dapat diterima atau ditolak dalam suatu penelitian (Bungin, 2005).

Penelitian ini menggunakan analisis statistik MANOVA yang merupakan uji beda varian dengan menggunakan *software* IBM SPSS Statistic 21. Jika pada anava varian yang digunakan berasal dari satu variabel terikat (Y), pada manova varian yang dibandingkan lebih dari satu variabel terikat (Y1, Y2, Y3, Y4,...). Sebelum dilakukan analisis variansi multivariat lebih lanjut, terlebih dahulu akan diuji ketiga asumsi-asumsi dasar tersebut menyatakan bahwa dari

sekumpulan data multivariat  $X_1, X_2, \dots, X_n$ , ( $l = 1, 2, \dots, g$ ) merupakan sampel acak berukuran  $n_l$  yang diambil dari suatu populasi dengan vektor rata-rata  $\mu_l$  dan saling bebas. Pernyataan ini adalah jelas tanpa perlu diuji karena untuk tujuan uji perbedaan maka sekumpulan data multivariat dari setiap populasi harus diambil secara acak dan saling bebas satu sama lain.

1. Uji Homogenitas Matriks, statistika uji diperlukan untuk menguji homogenitas matriks varians-kovarians dengan hipotesis  $H_0: \Sigma_1 = \Sigma_2 = \dots = \Sigma_g = \Sigma_0$  dan  $H_1$  ada paling sedikit satu diantara sepasang  $\Sigma_l$  yang tidak sama.
2. Uji Normalitas Multivariat, Metode statistika multivariat MANOVA mensyaratkan terpenuhinya asumsi distribusi normalitas dengan hipotesis adalah  $H_0$  : Data berdistribusi normal multivariat dan  $H_1$  : Data tidak berdistribusi normal multivariat.

Pada analisa variansi univariat, keputusan dibuat berdasarkan satu statistika uji yaitu uji  $F$  yang nilainya ditentukan oleh hasil bagi dari dua rata-rata jumlah kuadrat, sebagai taksiran hasil bagi taksiran variansi-variansi yang bersangkutan. Pada analisis variansi multivariat ada beberapa statistik uji yang dapat digunakan untuk membuat keputusan, yaitu: (Kattree & Naik, 2000)

1. Pillai's Trace. Statistik uji ini paling cocok digunakan jika asumsi homogenitas matriks varians-kovarians tidak dipenuhi, ukuran-ukuran sampel kecil, dan jika hasil-hasil dari pengujian bertentangan satu sama lain yaitu jika ada beberapa vektor rata-rata yang berbeda sedang yang lain tidak. Semakin tinggi nilai statistik Pillai's Trace, pengaruh terhadap model semakin besar.
2. Wilk's Lambda. Statistik uji digunakan jika terdapat lebih dari dua kelompok variabel independen dan asumsi homogenitas matriks varians-kovarians dipenuhi. Semakin rendah nilai statistik Wilk's Lambda, pengaruh terhadap model semakin besar. Nilai Wilk's Lambda berkisar antara 0-1.
3. Hotelling's Trace. Statistik uji ini cocok digunakan jika hanya terdapat dua kelompok variabel independen. Semakin tinggi nilai statistik Hotelling's Trace, pengaruh terhadap model semakin besar. Nilai Hotelling's Trace > Pillai's Trace.

4. Roy's Largest Root. Statistik uji ini hanya digunakan jika asumsi homogenitas varians-kovarians dipenuhi. Semakin tinggi nilai statistik Roy's Largest Root, pengaruh terhadap model semakin besar. Nilai Roy's Largest Root > Hotelling's Trace > Pillai's Trace. Dalam hal pelanggaran asumsi normalitas multivariat, statistik ini kurang *robust* (kekar) dibandingkan dengan statistik uji yang lainnya.

### Selang Kepercayaan Simultan untuk Beberapa Pengaruh Perlakuan

Dalam pengujian One-Way MANOVA, diperoleh kesimpulan menerima atau menolak  $H_0$ . Ketika  $H_0$  diterima maka kasus untuk pengujian One-Way MANOVA selesai, tetapi jika hipotesis  $H_0$  ditolak yaitu terdapat perbedaan atau paling tidak ada satu  $\tau_k \neq \tau_l$ , maka digunakan selang kepercayaan simultan untuk memperkirakan besarnya perbedaan perlakuan antara populasi.

$H_0$  : Data berdistribusi multivariat normal

$H_1$  : Data tidak berdistribusi multivariat normal

Statistik uji: 
$$d_j^2 = (\mathbf{X}_j - \bar{\mathbf{X}})' S^{-1} (\mathbf{X}_j - \bar{\mathbf{X}}), j = 1, \dots, n$$

Daerah penolakan yaitu tolak  $H_0$  jika  $(d_j^2 \leq \chi_{p,0,05}^2) \leq 50\%$ .

Adapun variabel-variabel yang akan diuji dan dikaji baik dari analisa statistik dengan menggunakan MANOVA adalah sebagai berikut:

1. Variabel terikat (sebagai fungsi Y), yaitu sistem termal perkotaan terdiri dari temperatur udara ( $Y_1$ ), kelembaban udara ( $Y_2$ ), kecepatan angin ( $Y_3$ ), intensitas radiasi matahari ( $Y_4$ ), temperatur radiasi matahari rata-rata ( $Y_5$ ) dan kenyamanan termal ruang luar PET ( $Y_6$ ).
2. Variabel bebas (sebagai fungsi X), yaitu tipe lansekap dengan karakteristik berupa komposisi dan konfigurasi lansekap ruang kota serta pembayangan yang dihasilkan komposisi dan konfigurasi lansekap ruang kota. Tipe lansekap yang digunakan ada 8 ( $X_1 - X_8$ ).

Berdasarkan analisa statistik di atas, dalam penelitian ini analisa MANOVA dilakukan untuk mengkaji dan menjelaskan hubungan atau keterkaitan

antara faktor lansekap ruang kota dan pembayangan yang mempengaruhi kondisi lingkungan termal perkotaan. Analisis yang akan dilakukan sebagai berikut:

1. Analisa hubungan antar elemen iklim – kondisi termal

Kondisi termal di setiap tipe lansekap berbasis hasil pengukuran lapangan dan hasil simulasi. Data hasil pengukuran lapangan berupa elemen iklim temperatur udara, kelembaban udara, kecepatan angin dan intensitas radiasi matahari. Data hasil simulasi berupa temperature udara, kelembaban udara, kecepatan angin, temperature radiasi dan PET. Kondisi termal ini dilihat dari nilai kenyamanan termal ruang luar untuk melihat sejauh mana dan seberapa besar hubungan antara elemen iklim tersebut. Sehingga dapat diketahui pada setiap konfigurasi lansekap, elemen iklim apa yang dominan mempengaruhi kondisi termal khususnya untuk daerah tropis lembab.

2. Analisa korelasi antara komposisi dan konfigurasi lansekap ruang serta pembayangan yang dihasilkan oleh komposisi dan konfigurasi lansekap ruang kota tersebut terhadap kondisi termal.

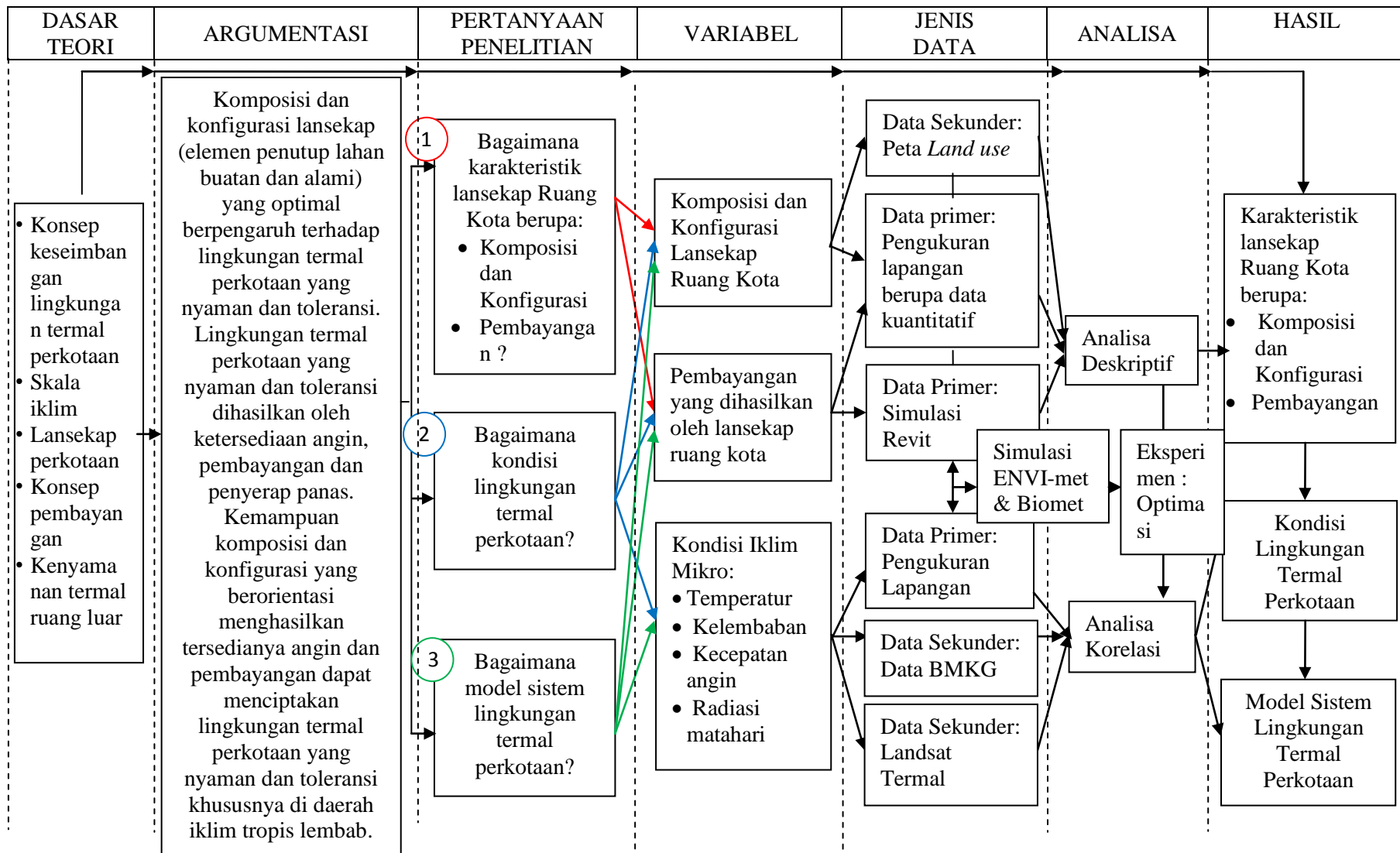
- a. Komposisi dan konfigurasi lansekap ruang kota

Analisa ini dilakukan dengan mengkaji seberapa besar pengaruh komposisi dan konfigurasi lansekap ruang kota terhadap hasil bayangan yang sama pada jam-jam tertentu. Dengan demikian didapat komposisi dan konfigurasi lansekap ruang kota yang bagaimana yang dapat menghasilkan bayangan yang nantinya berpengaruh paling terhadap kondisi lingkungan termal perkotaan pada daerah iklim tropis lembab.

- b. Pembayangan yang dihasilkan oleh komposisi dan konfigurasi lansekap ruang kota.

Analisa ini dilakukan dengan mengkaji seberapa besar pengaruh pembayangan terhadap komposisi dan konfigurasi setiap lansekap ruang kota, sehingga didapat bagaimana kondisi termal perkotaan pada daerah iklim tropis lembab akibat pembayangan pada sebuah komposisi dan konfigurasi lansekap ruang kota.

Berdasarkan analisa di atas akan dijelaskan bahwa lansekap dan pembayangan akan berpengaruh pada elemen-elemen iklim mikro apa saja, baik pada bulan terpanas dan terdingin.



Gambar 3.7 Kerangka Penelitian

3. Analisis korelasi antara pengaruh komposisi dan konfigurasi lansekap ruang kota serta pembayangan terhadap model sistem lingkungan termal perkotaan. Analisis akhir ini untuk menjelaskan dan mengevaluasi pengaruh komposisi dan konfigurasi lansekap ruang kota serta pembayangan yang dihasilkan oleh komposisi dan konfigurasi lansekap ruang kota, dengan penilaian terhadap kenyamanan termal ruang luar PET ( $^{\circ}\text{C}$ ) khususnya di daerah tropis lembab.. Hasil akhir dari penelitian ini berupa model yang akan dijelaskan berupa tipe lansekap dengan komposisi dan konfigurasi yang bagaimana yang dapat menciptakan kenyamanan termal ruang luar khususnya di daerah tropis lembab.

## BAB 4

### KARAKTERISTIK IKLIM DAN LANSKAP RUANG KOTA SURABAYA

#### 4.1. Profil Kondisi Iklim Kota Surabaya

Secara geografis, kota Surabaya terletak di antara 7.15°-7.35° Lintang Selatan dan 112.6°-112.9 Bujur Timur. Letak geografis ini mempengaruhi kondisi iklim kota Surabaya yang dipengaruhi iklim tropis panas lembab dengan karakteristik umum yang hampir sama dengan kota-kota lain di Indonesia, yaitu temperatur udara yang relatif panas, kelembaban udara yang relatif tinggi dan kecepatan angin yang relatif rendah serta intensitas radiasi matahari yang relatif tinggi. Tabel 4.1 menunjukkan data iklim kota Surabaya dalam kurun waktu 5 tahun terakhir.

Tabel 4.1 Data Iklim kota Surabaya tahun 2007-2011

Bulan	Temperatur Udara			Kelembaban Udara	Kecepatan Angin	Arah Angin	Lama Penyinaran Matahari	Intensitas Radiasi Matahari	Curah Hujan
	Maks	Min	Rata-rata	Rata-rata	Rata-rata	Frekuensi	Rata-rata	Rata-rata	Jumlah
	(°C)	(°C)	°C	%	m/s		%	Watt/m2	mm
Jan	33,8	23,2	27,4	80,5	4,3	W	52,8	5756,0	323,8
Feb	33,4	21,7	27,1	76,0	4,4	W	54,8	6149,7	415,9
Mar	33,3	23,2	27,5	82,8	3,7	W	55,3	6170,6	279,3
Apr	32,9	23,6	27,7	82,6	3,3	E	59,6	5698,2	151,8
Mei	32,7	22,5	28,0	79,6	3,7	E	72,1	5685,2	186,7
Juni	32,4	22,2	27,4	77,3	3,8	E	80,5	5925,4	53,3
Juli	32,3	21,0	26,9	75,7	4,0	E	91,6	6502,3	51,7
Aug	32,6	21,2	26,9	73,1	4,2	E	94,5	7226,6	15,5
Sep	33,8	22,4	27,5	70,3	4,2	E	90,3	7609,3	129,3
Okt	34,8	23,3	28,9	70,4	4,3	E	81,9	7450,8	83,9
Nov	34,4	23,6	28,4	75,9	3,7	E	66,4	6520,9	142,6
Des	33,6	23,2	27,8	80,1	3,8	W	43,8	5382,5	365,1

Sumber: BMKG Juanda Surabaya, 2007-2011

Pada penelitian disertasi ini dibutuhkan data iklim makro Surabaya untuk melihat waktu ekstrim di sepanjang tahun, yaitu kondisi iklim pada bulan terdingin (Juli) dan terpanas (Oktober). Pemilihan bulan terdingin dan terpanas ini



berdasarkan kondisi temperatur udara rata-rata terendah dan tertinggi dalam kurun waktu lima tahun terakhir (Gambar 4.1). Adapun karakteristik kondisi iklim makro Kota Surabaya dalam kurun waktu lima tahun terakhir, sebagai berikut:

#### 1. Temperatur Udara

Temperatur rata-rata terendah terjadi pada bulan Juli dan Agustus, sedangkan pada bulan Oktober dan November memiliki temperatur rata-rata tertinggi, yaitu  $26,9^{\circ}\text{C}$  dan  $28,7^{\circ}\text{C}$ . Peningkatan dan penurunan temperatur udara setiap bulannya berkisar  $0,3-0,6^{\circ}\text{C}$ . Hal ini juga dipengaruhi oleh elemen iklim lainnya, seperti kelembaban udara, curah hujan, lama penyinaran matahari, intensitas radiasi matahari, kecepatan dan arah datang angin.

#### 2. Kelembaban Udara

Perbedaan kelembaban udara rata-rata di Surabaya tidak begitu besar setiap bulannya sekitar 2%-6%. Kelembaban udara rata-rata tertinggi terjadi pada bulan Maret yaitu sebesar 82,8%, sedangkan kelembaban udara rata-rata terendah terjadi pada bulan September 70,3%. Karakteristik kelembaban udara ini berbanding terbalik dengan temperatur udara.

#### 3. Curah Hujan

Curah hujan tahunan yang terjadi di Surabaya relatif rendah. Curah hujan terendah terjadi pada bulan Agustus sebesar 15,5 mm, sedangkan curah hujan tertinggi terjadi pada bulan Februari sebesar 415,9 mm. Curah hujan yang terjadi tidak mempengaruhi kelembaban udara dikarenakan kecepatan angin yang terjadi di Surabaya relatif tinggi.

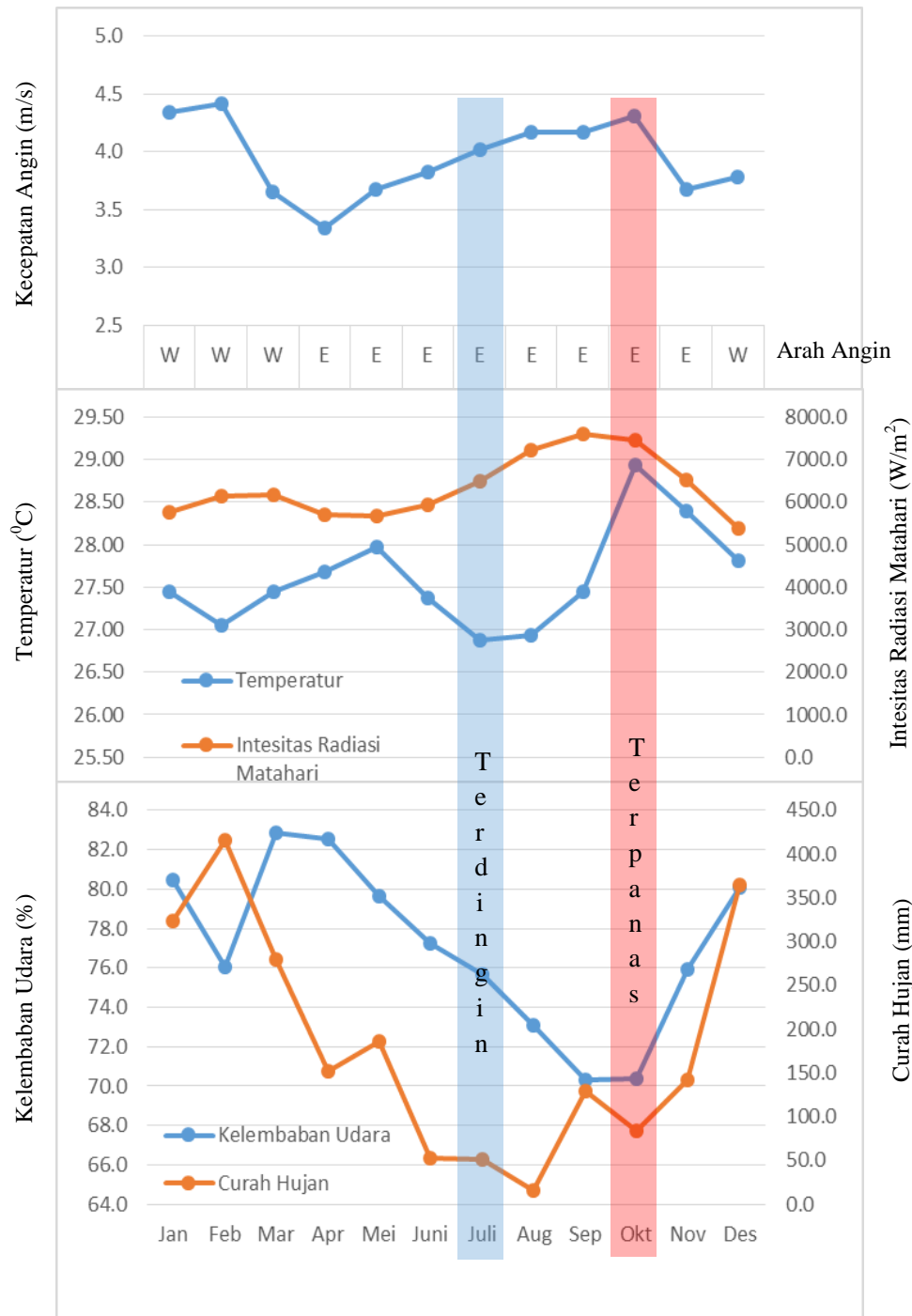
#### 4. Intensitas Radiasi Matahari

Intensitas radiasi matahari kota Surabaya relatif tinggi khususnya pada bulan Maret sebesar  $2959,2 \text{ Watt/m}^2$ , sedangkan intensitas radiasi matahari terendah terjadi pada bulan Juni sebesar  $2608,1 \text{ Watt/m}^2$ . Tingginya intensitas radiasi matahari dapat mempengaruhi temperatur udara menjadi relatif tinggi, namun kelembaban udara menjadi rendah dikarenakan tingginya kecepatan angin yang terjadi di kota Surabaya.

#### 5. Kecepatan dan Arah Angin

Kecepatan angin cenderung tinggi, karena dipengaruhi oleh kondisi geografis Kota Surabaya yang terletak dekat laut. Kecepatan angin rata-rata tertinggi terjadi

pada bulan Februari yaitu dengan kecepatan 4,4m/s, sedangkan kecepatan angin rata-rata terendah 3,3m/s yang terjadi pada bulan April. Dengan frekuensi arah datang angin terbanyak berasal dari arah timur.

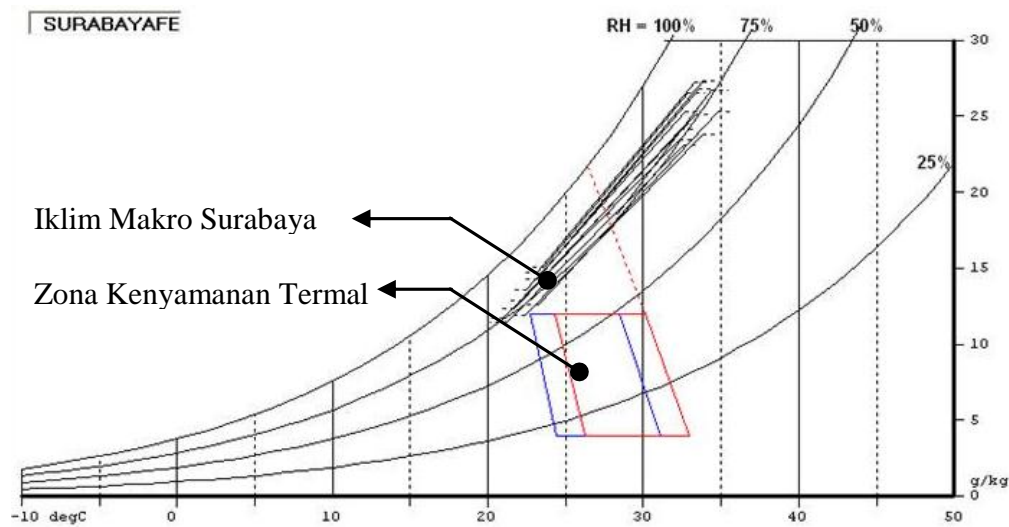


Gambar 4.1 Kondisi iklim makro di Surabaya dalam kurun waktu 5 tahun terakhir (BMKG Juanda Surabaya, 2007-2011)

Dari karakteristik elemen iklim makro tersebut, khususnya untuk di kota Surabaya dapat disimpulkan bahwa peningkatan dan penurunan temperatur udara sangat dipengaruhi oleh intensitas radiasi matahari dan kecepatan angin. Keterkaitan antara elemen iklim sangat kuat, untuk profil temperatur udara memiliki hubungan yang linier terhadap kecepatan angin dan intensitas radiasi matahari yaitu sama-sama dalam mengalami peningkatan dan penurunan nilainya. Namun ketiga elemen iklim memiliki hubungan berbanding terbalik dengan kelembaban udara dan curah hujan.

Gambar 4.1 menunjukkan bahwa pada saat bulan terdingin (Juli dan Agustus), terjadinya penurunan temperatur udara rata-rata terendah, pada saat itu kelembaban udara mengalami peningkatan dengan kondisi curah hujan, intensitas radiasi matahari dan kecepatan angin relatif sedang. Namun sebaliknya pada bulan terpanas (Oktober dan November), terjadinya peningkatan temperatur udara rata-rata tertinggi, intensitas radiasi matahari dan kecepatan angin yang relatif tinggi, pada saat itu kelembaban udara dan curah hujan mengalami penurunan.

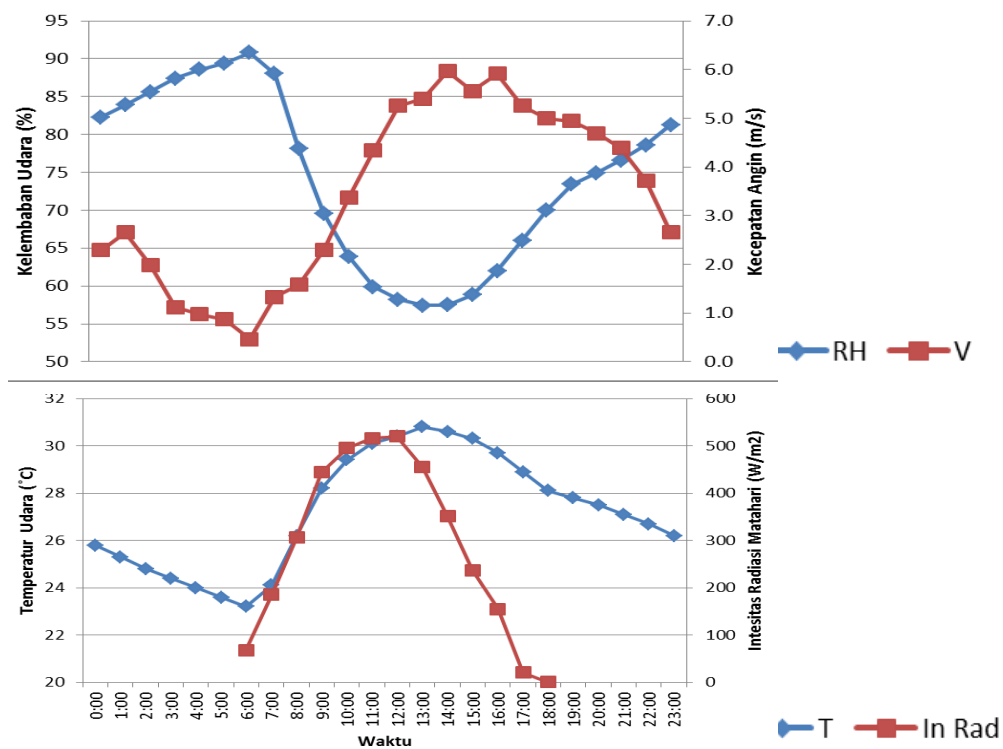
Analisa iklim makro ini dilakukan untuk mengetahui apakah dengan data iklim yang ada dapat menunjukkan kondisi ruang luar kota Surabaya sudah berada pada zona kenyamanan termal (*thermal comfort zone*) apa belum. Salah satu cara adalah dengan menggunakan *psycrometric chart*. Berdasarkan hasil simulasi program Archipak dapat diketahui zona kenyamanan termal dalam *psycrometric chart* (Gambar 4.2). Dari Gambar 4.2 dapat dilihat bahwa pada bulan-bulan Desember sampai Juli mempunyai jarak yang jauh dari zona kenyamanan termal. Hal ini dipengaruhi oleh curah hujan dan kelembaban udara yang relatif tinggi, dengan temperatur udara dan kecepatan angin rendah sehingga dapat menyebabkan terhambatnya evaporasi tubuh sehingga cenderung terjadi ketidaknyamanan termal. Pada bulan-bulan Agustus sampai November sudah mulai mendekati ke zona kenyamanan termal (tapi tidak masuk dalam zona kenyamanan termal), dengan kondisi temperatur udara dan intensitas radiasi matahari mulai relatif tinggi, kelembaban udara dan curah hujan relatif rendah, namun memiliki kecepatan angin yang relatif tinggi sehingga dapat membantu dalam penghapusan panas.



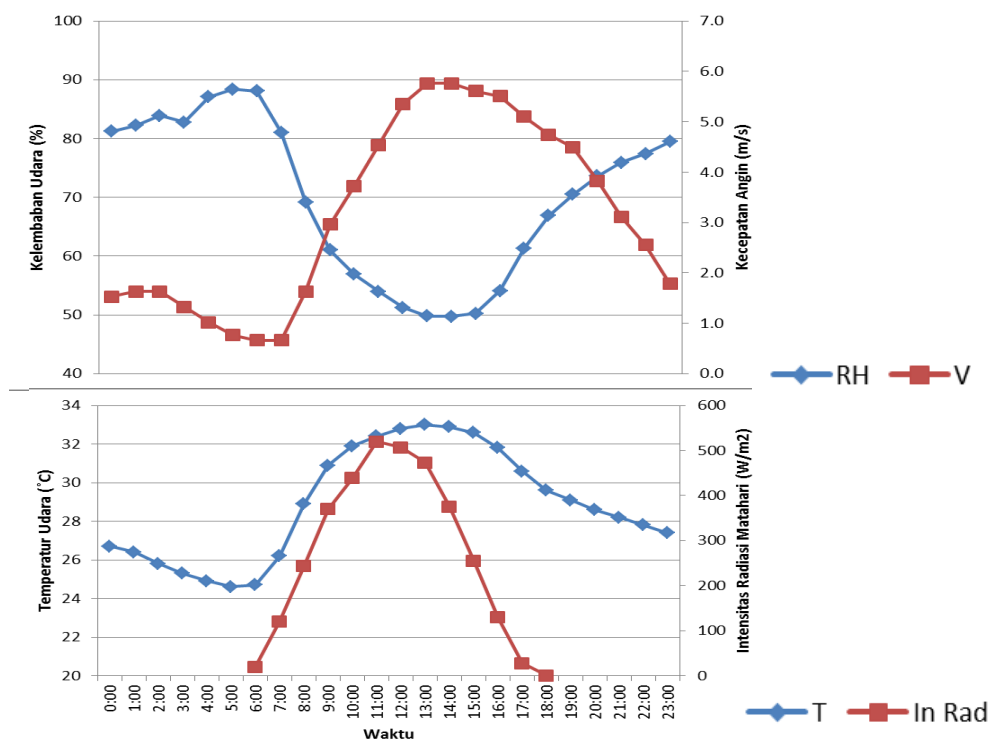
Gambar 4.2 Kondisi iklim makro Kota Surabaya dalam diagram psikometrik (Archipak, 2013)

Dari data iklim makro tersebut, bulan juli mewakili bulan terdingin dan bulan Oktober mewakili bulan terpanas. Dari bulan-bulan tersebut dapat dilihat pola perubahan setiap jamnya (Gambar 4.3 dan 4.4). Secara umum profil keempat elemen iklim hampir sama pada bulan terdingin dan bulan terpanas, dalam waktu peningkatan dan penurunan. Perbedaannya terletak pada nilai, saat matahari mulai terbit, bulan terdingin peningkatan temperatur hanya sebesar 1K, tetapi pada bulan terpanas sebesar 2K. Hal ini disebabkan intensitas radiasi matahari di bulan terpanas lebih tinggi dibandingkan bulan terdingin. Berbanding terbalik untuk kondisi kelembaban udara, sedangkan untuk kondisi kecepatan angin relatif hampir sama. Waktu puncak temperatur tertinggi di kedua bulan sama, yaitu pada pukul 13:00, bulan terdingin ( $30,8^{\circ}\text{C}$ ) dan bulan terpanas ( $33^{\circ}\text{C}$ ). Pada saat itu juga menunjukkan kecepatan angin tertinggi (bulan terdingin 6.0m/s dan bulan terpanas 5.8m/s), kelembaban udara terendah (bulan terdingin 57,4% dan bulan terpanas 49,8%).

Berdasarkan hasil analisa antar elemen iklim makro tersebut dan tujuan dari penelitian ini, maka perlu dilihat karakteristik lansekap ruang kota yang bagaimana yang dapat memperbaiki kondisi iklim makro atau kondisi ruang luar dari kota Surabaya. Khususnya dalam penelitian ini dengan cara memanfaatkan kondisi iklim mikro di setiap tipe lansekap ruang kota yang ada sehingga terbentuk kenyamanan termal ruang luar. Di mana kenyamanan termal ruang luar



Gambar 4.3 Profil iklim makro bulan Juli (terdingin) selama 24 jam (BMKG Juanda Surabaya, 2008-2011)



Gambar 4.4 Profil iklim makro bulan Oktober (terpanas) selama 24 jam (BMKG Juanda Surabaya, 2008-2011)

tersebut terbentuk dipengaruhi oleh karakteristik konfigurasi dan komposisi lansekap ruang kota serta karakteritik pembayangan yang dihasilkan oleh lansekap ruang kota tersebut.

#### **4.2. Karakteristik Komposisi dan Konfigurasi Lansekap Ruang Kota**

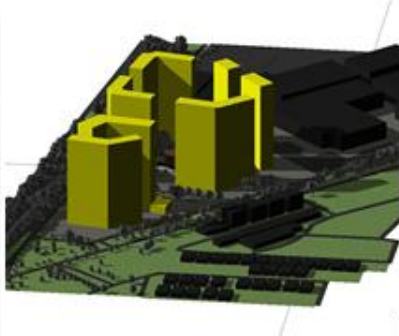



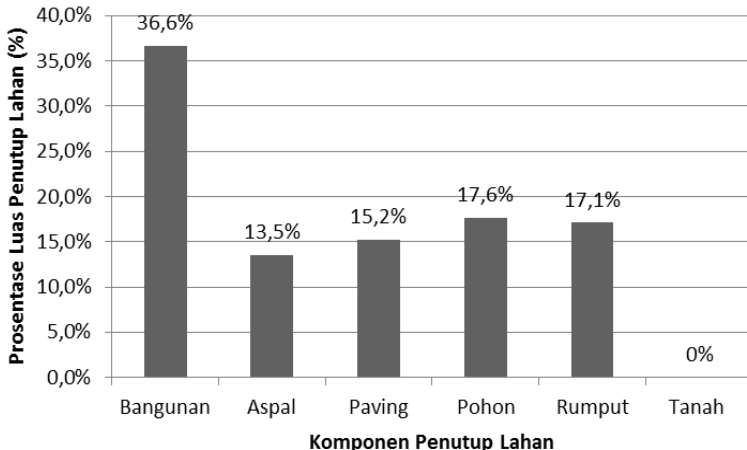
Tinjauan utama dalam penelitian ini berupa identifikasi karakteristik dari komposisi dan konfigurasi lansekap ruang kota serta hasil pembayangan yang dihasilkan oleh komposisi dan konfigurasi ruang kota tersebut. Pada lokasi penelitian ini terdapat kriteria komposisi dan konfigurasi lansekap ruang kota yang berbeda-beda. Pengambilan kriteria ini berdasarkan pembagian tipe lansekap menurut Hopper (2007) dan pendekatan zona iklim lokal (*Local Climate Zone/LCZ*) oleh Stewart & Oke (2009; 2012). Pendekatan ini digunakan sebagai acuan untuk mendefinisikan dan mengklarifikasikan karakterstik tipe lansekap yang selanjutnya dapat menunjukkan kondisi termal perkotaan khususnya di daerah tropis lembab.

Untuk melihat karakteristik dari lansekap ruang kota, menurut Zhou dkk (2011) dan Du, Shihong (2016) ada dua aspek dasar yang mendasari yaitu berupa komposisi dan konfigurasi dari pola penutup lahan. Identifikasi karakteristik komposisi dan konfigurasi lansekap ruang kota tersebut dijelaskan sebagai berikut:

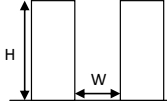
1. Definisi, yaitu menjelaskan dari segi bentuk (deskripsi geometri bangunan, konstruksi material, penutup lahan, kepadatan ada tidaknya pohon, aktivitas manusia), fungsi (peruntukan penggunaan lahan), dan lokasi.
2. Ilustrasi, yaitu menjelaskan objek secara visualisasi (foto dan gambar).
3. Propertis, yaitu menjelaskan parameter desain :
  - Komposisi lansekap berupa persentase komponen penutup lahan (elemen lansekap)
  - Konfigurasi lansekap berupa orientasi kawasan, pola perletakan bangunan, perbandingan nilai H/W, pola perletakan vegetasi
  - Persentase luas pembayangan yang dihasilkan oleh lansekap ruang kota.

#### 4.2.1. Tipe Lansekap *Open-set Highrise* (OSH) / Zona Bangunan Bertingkat Tinggi

Tabel 4.2 Karakteristik Tipe Lansekap OSH


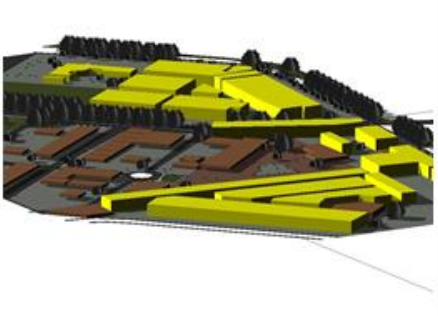


Tipe Lansekap		OSH ( <i>Open-set Highrise</i> )														
Defenisi		Tipe lansekap ini merupakan kawasan tempat tinggal berupa Apartemen (Apartemen Waterplace) dengan luas ± 10.000 m <sup>2</sup> . Komponen penutup lahan terdiri dari bangunan, aspal, jalan, pohon dan rumput. Bangunan terbuat dari beton.														
Ilustrasi		<div></div> <div></div>														
Propertis																
Komposisi	Komponen penutup lahan terbangun: bangunan dan jalan (aspal dan paving). Komponen penutup lahan alami terdiri dari pohon dan rumput.	<div><table><tr><th>Komponen Penutup Lahan</th><th>Prosentase Luas Penutup Lahan (%)</th></tr><tr><td>Bangunan</td><td>36,6%</td></tr><tr><td>Aspal</td><td>13,5%</td></tr><tr><td>Paving</td><td>15,2%</td></tr><tr><td>Pohon</td><td>17,6%</td></tr><tr><td>Rumput</td><td>17,1%</td></tr><tr><td>Tanah</td><td>0%</td></tr></table></div>	Komponen Penutup Lahan	Prosentase Luas Penutup Lahan (%)	Bangunan	36,6%	Aspal	13,5%	Paving	15,2%	Pohon	17,6%	Rumput	17,1%	Tanah	0%
	Komponen Penutup Lahan	Prosentase Luas Penutup Lahan (%)														
Bangunan	36,6%															
Aspal	13,5%															
Paving	15,2%															
Pohon	17,6%															
Rumput	17,1%															
Tanah	0%															

Tabel 4.2 Karakteristik Tipe Lansekap OSH.....(Lanjutan)

<b>Konfigurasi</b>	Orientasi Kawasan	Timur – Barat
	Pola Perletakan Bangunan	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Pola Linier</li> </ul>
	Nilai H/W 	Tinggi Bangunan : ±100 m (25 lantai) Lebar Jalan : 35 m H/W : 3
	Pola Perletakan Vegetasi	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Mengikuti pola jalan dan memusat (taman kecil)</li> <li>• Penggunaan jenis pohon dengan tajuk (kanopi) yang lebar dan bulat, ketinggian pohon beragam berkisar 3-15m.</li> </ul>
Panas Antropogenik <ul style="list-style-type: none"> <li>• Frekuensi Arus Lalu Lintas</li> </ul>		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Frekuensi arus lalu lintas dikategorikan sedang</li> <li>• Tipe jalan : jalan lokal sekunder (menghubungkan kawasan sekunder dengan perumahan)</li> </ul>

#### 4.2.2. Tipe Lansekap *Open-set Midrise* (OSM) / Zona Bangunan Bertingkat Menengah

Tabel 4.3 Karakteristik Tipe Lansekap OSM

<b>Tipe Lansekap</b>	OSM ( <i>Open-set Midrise</i> )
<b>Defenisi</b>	Tipe ini merupakan kawasan pertokoan (Darmo Sattelite Town) dengan luasan ± 10.000 m <sup>2</sup> . Komponen penutup lahan terdiri dari bangunan, aspal, jalan, pohon dan rumput.
<b>Ilustrasi</b>	   



Tabel 4.3 Karakteristik Tipe Lansekap OSM.....(Lanjutan)





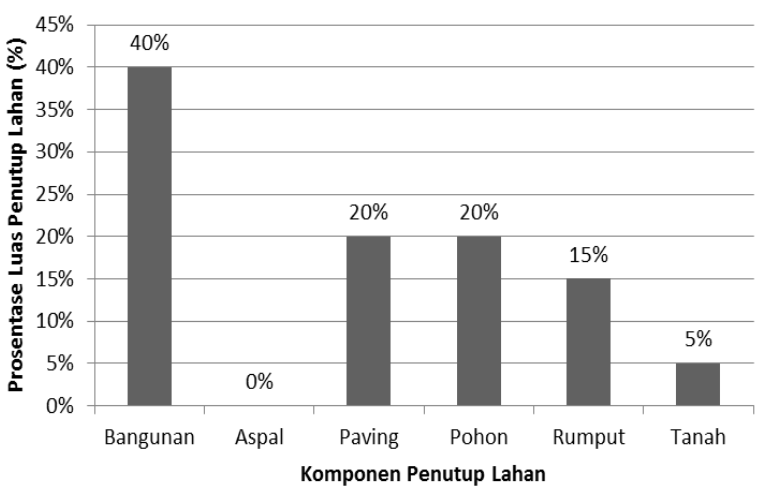

Propertis																
Komposisi	Komponen penutup lahan terbangun terdiri dari bangunan dan jalan (aspal dan paving). Komponen penutup lahan alami terdiri dari pohon dan rumput.	<table><caption>Data for Land Cover Component Chart</caption><thead><tr><th>Komponen Penutup Lahan</th><th>Prosentase Luas Penutup Lahan (%)</th></tr></thead><tbody><tr><td>Bangunan</td><td>48,8%</td></tr><tr><td>Aspal</td><td>8,6%</td></tr><tr><td>Paving</td><td>21,0%</td></tr><tr><td>Pohon</td><td>14,2%</td></tr><tr><td>Rumput</td><td>7,4%</td></tr><tr><td>Tanah</td><td>0%</td></tr></tbody></table>	Komponen Penutup Lahan	Prosentase Luas Penutup Lahan (%)	Bangunan	48,8%	Aspal	8,6%	Paving	21,0%	Pohon	14,2%	Rumput	7,4%	Tanah	0%
	Komponen Penutup Lahan	Prosentase Luas Penutup Lahan (%)														
Bangunan	48,8%															
Aspal	8,6%															
Paving	21,0%															
Pohon	14,2%															
Rumput	7,4%															
Tanah	0%															
Konfigurasi	Orientasi Kawasan	Barat Laut - Tenggara														
	Pola Perletakan Bangunan	<ul style="list-style-type: none"><li>• Pola Linier</li><li>• Posisi jarak antar bangunan cukup rapat</li></ul>														
	Nilai H/W 	Tinggi Bangunan : 12 m (3 lantai) Lebar Jalan : 15 m H/W : 0,4														
	Pola Perletakan Vegetasi	<ul style="list-style-type: none"><li>• Mengikuti pola jalan</li><li>• Pohon dengan tajuk (kanopi) yang lebar dan bulat, ketinggian pohon beragam berkisar 3-15m.</li></ul>														
Panas Antropogenik <ul style="list-style-type: none"><li>• Frekuensi Arus Lalu Lintas</li></ul>		<ul style="list-style-type: none"><li>• Frekuensi arus lalu lintas dikategorikan sedang</li><li>• Tipe jalan : jalan lokal sekunder (menghubungkan kawasan sekunder dengan perumahan)</li></ul>														

#### 4.2.3. Tipe Lansekap *Open-set Lowrise* (OSL) / Zona Bangunan Bertingkat Rendah

Tabel 4.4 Karakteristik Tipe Lansekap OSL

Tipe Lansekap	OSL ( <i>Open-set Lowrise</i> )
Defenisi	Tipe ini merupakan kawasan Perumahan yaitu berupa bangunan hotel dengan konsep resort yang terdiri beberapa bangunan tunggal dan terdapat banyak pohon, namun berlokasi di daerah perumahan (apartemen graha residen), dengan luasan $\pm 10.000 \text{ m}^2$ .

Tabel 4.4 Karakteristik Tipe Lansekap OSL.....(Lanjutan)






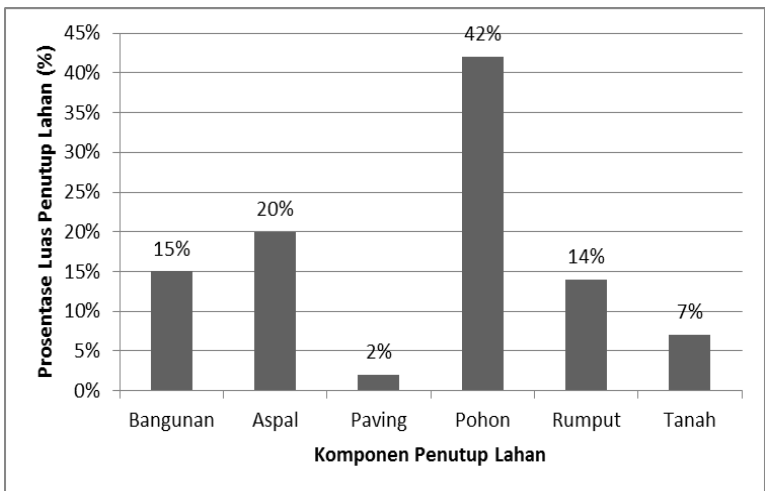
<b>Ilustrasi</b>	   														
<b>Propertis</b>															
<b>Komposisi</b>	<p>Komponen penutup lahan terbangun terdiri dari bangunan dan jalan (paving). Komponen penutup lahan alami terdiri dari pohon, rumput dan tanah.</p>  <table border="1"> <thead> <tr> <th>Komponen Penutup Lahan</th> <th>Prosentase Luas Penutup Lahan (%)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Bangunan</td> <td>40%</td> </tr> <tr> <td>Aspal</td> <td>0%</td> </tr> <tr> <td>Paving</td> <td>20%</td> </tr> <tr> <td>Pohon</td> <td>20%</td> </tr> <tr> <td>Rumput</td> <td>15%</td> </tr> <tr> <td>Tanah</td> <td>5%</td> </tr> </tbody> </table>	Komponen Penutup Lahan	Prosentase Luas Penutup Lahan (%)	Bangunan	40%	Aspal	0%	Paving	20%	Pohon	20%	Rumput	15%	Tanah	5%
Komponen Penutup Lahan	Prosentase Luas Penutup Lahan (%)														
Bangunan	40%														
Aspal	0%														
Paving	20%														
Pohon	20%														
Rumput	15%														
Tanah	5%														
<b>Konfigurasi</b>	Orientasi Kawasan Barat Laut - Tenggara														
	Pola Perletakan Bangunan <ul style="list-style-type: none"> <li>• Pola Grid</li> <li>• Posisi jarak antar bangunan <math>\pm 4</math> m</li> </ul>														
	Nilai H/W <div style="display: flex; align-items: center;">  <div style="margin-left: 10px;"> Tinggi Bangunan : 8 m (2 lantai)  Lebar Jalan : 15 m  H/W : 0,6 </div> </div>														
Pola Perletakan Vegetasi	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Mengikuti pola jalan dan memusat (taman)</li> <li>• Pohon dengan ketinggian 10-15m dengan tajuk yang melebar dan kerapatan daun yang lebat.</li> </ul>														

Tabel 4.4 Karakteristik Tipe Lansekap OSL.....(Lanjutan)

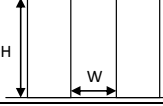
Panas Antropogenik • Frekuensi Arus Lalu Lintas	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Frekuensi arus lalu lintas dikategorikan rendah</li> <li>• Tipe jalan : jalan lingkungan perumahan</li> </ul>
---	--

#### 4.2.4. Tipe Lansekap *Open-set Trees* (OST)

Tabel 4.5 Karakteristik Tipe Lansekap OST

Tipe Lansekap		OST ( <i>Open-set Trees</i> )														
Defenisi		Tipe ini merupakan taman dan koridor jalan yang ditanami pepohonan yang terletak di jalan HR.muhammad,dengan luasan ±285.000 m <sup>2</sup>														
Ilustrasi		<div></div> <div></div>														
Propertis																
Komposisi	Komponen penutup lahan :bangunan dan jalan (aspal dan paving). Komponen penutup lahan alami terdiri dari pohon , rumput dan tanah.	<div><table><caption>Data for Land Cover Component Bar Chart</caption><thead><tr><th>Komponen Penutup Lahan</th><th>Prosentase Luas Penutup Lahan (%)</th></tr></thead><tbody><tr><td>Bangunan</td><td>15%</td></tr><tr><td>Aspal</td><td>20%</td></tr><tr><td>Paving</td><td>2%</td></tr><tr><td>Pohon</td><td>42%</td></tr><tr><td>Rumput</td><td>14%</td></tr><tr><td>Tanah</td><td>7%</td></tr></tbody></table></div>	Komponen Penutup Lahan	Prosentase Luas Penutup Lahan (%)	Bangunan	15%	Aspal	20%	Paving	2%	Pohon	42%	Rumput	14%	Tanah	7%
Komponen Penutup Lahan	Prosentase Luas Penutup Lahan (%)															
Bangunan	15%															
Aspal	20%															
Paving	2%															
Pohon	42%															
Rumput	14%															
Tanah	7%															

Tabel 4.5 Karakteristik Tipe Lansekap OST.....(Lanjutan)

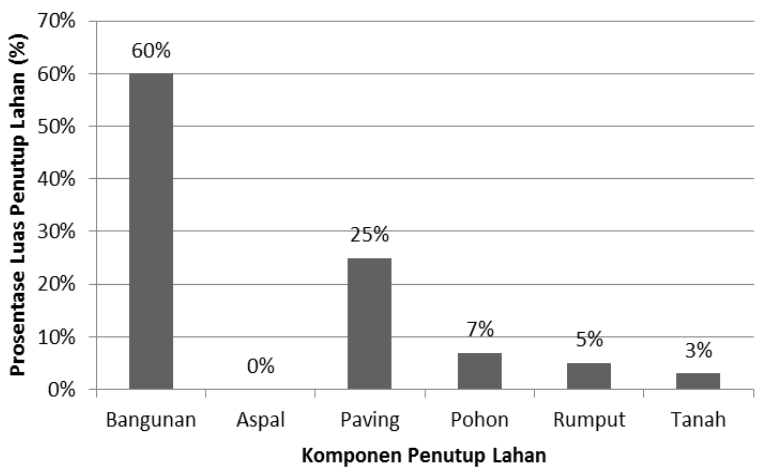
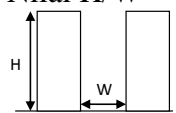
<b>Konfigurasi</b>	Orientasi Kawasan	Timur Laut – Barat Daya
	Pola Perletakan Bangunan	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Pola Menyebar</li> <li>• posisi jarak antar bangunan berjauhan</li> </ul>
	Nilai H/W 	Tinggi Bangunan : 15 m Lebar Jalan : 15 m H/W : 0,2
	Pola Perletakan Vegetasi	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Pohon terletak di sepanjang tepi jalan utama, taman serta ruang luar dari kompleks perkantoran</li> <li>• Pohon dengan tajuk (kanopi) yang lebar dan bulat, ketinggian pohon beragam berkisar 3-20m</li> </ul>
Panas Antropogenik • Frekuensi Arus Lalu Lintas		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Frekuensi arus lalu lintas tinggi (padat)</li> <li>• Tipe jalan : Jalan arteri sekunder</li> </ul>

#### 4.2.5. Tipe Lansekap *Compact Midrise* (CM) / Zona Bangunan Bertingkat Menengah

Tabel 4.6 Karakteristik Tipe Lansekap CM

<b>Tipe Lansekap</b>	CM ( <i>Compact Midrise</i> )
<b>Defenisi</b>	Tipe lansekap ini merupakan kawasan pertokoan (Golden Palace) yang terdapat di jalan Meyjen H.R Mohammad, dengan luasan $\pm 285.000 \text{ m}^2$
<b>Ilustrasi</b>	   

Tabel 4.6 Karakteristik Tipe Lansekap CM.....(Lanjutan)

Propertis		
Komposisi	Komponen penutup lahan terbangun terdiri dari bangunan dan jalan ( paving). Komponen penutup lahan alami terdiri dari pohon, rumput dan tanah.	
Konfigurasi	Orientasi Kawasan	Utara - Selatan
	Pola Perletakan Bangunan	<ul style="list-style-type: none"><li>• Pola Grid</li><li>• posisi jarak antar bangunan cukup rapat</li></ul>
	Nilai H/W 	Tinggi Bangunan : 12 m Lebar Jalan : 15 m H/W : 1,6
	Pola Perletakan Vegetasi	<ul style="list-style-type: none"><li>• Pohon terletak di sepanjang tepi jalan utama</li><li>• Pohon dengan tajuk (kanopi) yang lebar dan bulat, ketinggian pohon beragam berkisar 3-12m</li></ul>
Panas Antropogenik <ul style="list-style-type: none"><li>• Frekuensi Arus Lalu Lintas</li></ul>		<ul style="list-style-type: none"><li>• Frekuensi arus lalu lintas tinggi (padat)</li><li>• Tipe jalan : Jalan arteri sekunder</li></ul>






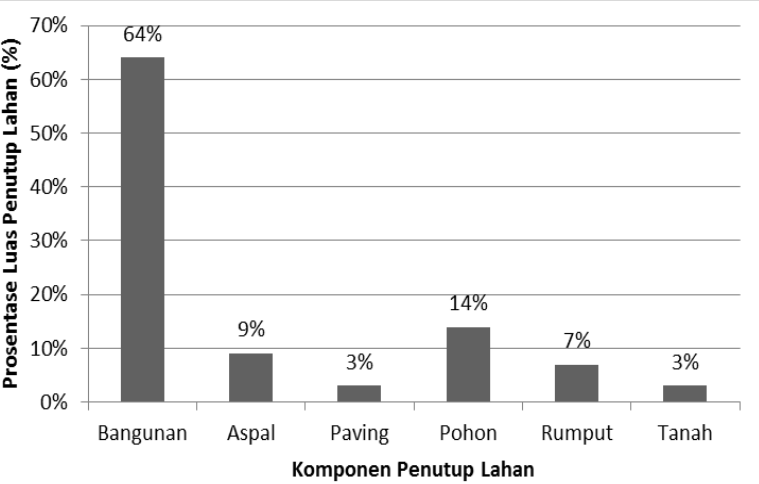
#### 4.2.6. Tipe Lansekap *Compact Lowrise* (CL) / Zona Bangunan Padat Bertingkat Rendah

Tabel 4.7 Karakteristik Tipe Lansekap CL

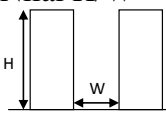
<b>Tipe Lansekap</b>	CL ( <i>Compact Lowrise</i> )
<b>Defenisi</b>	Tipe ini merupakan kawasan tempat tinggal : Perumahan Sukomanunggal, dengan luasan $\pm 250.000 \text{ m}^2$ . Komponen penutup lahan terdiri dari bangunan, aspal, jalan, pohon, rumput dan tanah. Bangunan terbuat dari beton.



Tabel 4.7 Karakteristik Tipe Lansekap CL.....(Lanjutan)

Ilustrasi		<div></div> <div></div>														
Propertis																
Komposisi	Komponen penutup lahan terbangun: bangunan dan jalan (aspal dan paving). Komponen penutup lahan alami terdiri dari pohon, rumput, dan tanah.	<div><table><thead><tr><th>Komponen Penutup Lahan</th><th>Prosentase Luas Penutup Lahan (%)</th></tr></thead><tbody><tr><td>Bangunan</td><td>64%</td></tr><tr><td>Aspal</td><td>9%</td></tr><tr><td>Paving</td><td>3%</td></tr><tr><td>Pohon</td><td>14%</td></tr><tr><td>Rumput</td><td>7%</td></tr><tr><td>Tanah</td><td>3%</td></tr></tbody></table></div>	Komponen Penutup Lahan	Prosentase Luas Penutup Lahan (%)	Bangunan	64%	Aspal	9%	Paving	3%	Pohon	14%	Rumput	7%	Tanah	3%
Komponen Penutup Lahan	Prosentase Luas Penutup Lahan (%)															
Bangunan	64%															
Aspal	9%															
Paving	3%															
Pohon	14%															
Rumput	7%															
Tanah	3%															
Konfigurasi	Orientasi Kawasan  Pola Perletakan Bangunan	Utara - Selatan  <ul style="list-style-type: none"><li>• Pola Grid</li><li>• posisi jarak antar bangunan cukup rapat</li></ul>														

Tabel 4.7 Karakteristik Tipe Lansekap CL.....(*Lanjutan*)

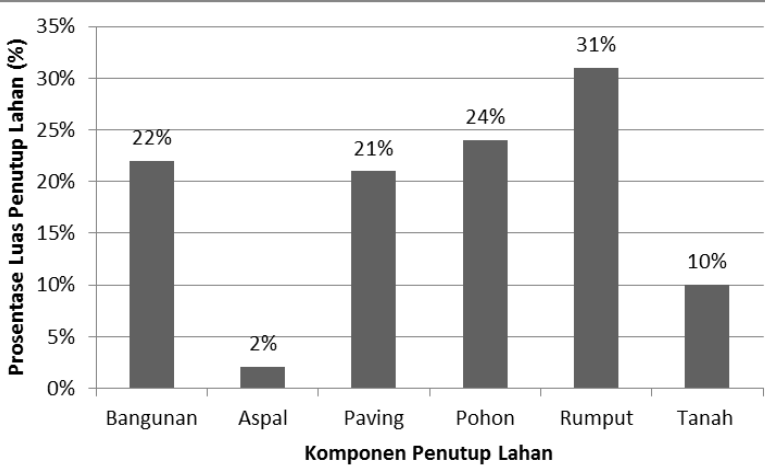
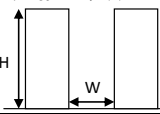
Konfigurasi	<p>Nilai H/W</p> 	<p>Tinggi Bangunan : 10 m</p> <p>Lebar Jalan : 8 m</p> <p>H/W : 0,7</p>
	<p>Pola Perletakan Vegetasi</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Pohon yang ada terletak di sepanjang tepi jalan, taman dan ruang luar dari perumahan.</li> <li>• Pohon dengan tajuk (kanopi) yang lebar dan bulat, ketinggian pohon beragam berkisar 3-15m</li> </ul>
<p>Panas Antropogenik</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Frekuensi Arus Lalu Lintas</li> </ul>		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Frekuensi arus lalu lintas dikategorikan sedang</li> <li>• Tipe jalan : jalan lingkungan perumahan</li> </ul>

#### 4.2.7. Tipe Lansekap *Dispersed Lowrise* (DL) / Zona Bangunan Bertingkat Rendah-Pola Tersebar

Tabel 4.8 Karakteristik Tipe Lansekap DL

Tipe Lansekap	DL ( <i>Dispersed Lowrise</i> )
Defenisi	<p>Tipe ini merupakan kawasan perumahan yang masih dalam pengembangan : perumahan Graha Family Surabaya, dengan luasan <math>\pm 250.000 \text{ m}^2</math>. Komponen penutup lahan terdiri dari bangunan, aspal, jalan, pohon, rumput dan tanah. Bangunan terbuat dari beton.</p>
Ilustrasi	    

Tabel 4.8 Karakteristik Tipe Lansekap DL.....(Lanjutan)

Propertis																
Komposisi	Komponen penutup lahan terbangun terdiri dari bangunan dan jalan (aspal dan paving). Komponen penutup lahan alami terdiri dari pohon, rumput dan tanah.	 <table><caption>Data for Land Cover Component Chart</caption><thead><tr><th>Komponen Penutup Lahan</th><th>Prosentase Luas Penutup Lahan (%)</th></tr></thead><tbody><tr><td>Bangunan</td><td>22%</td></tr><tr><td>Aspal</td><td>2%</td></tr><tr><td>Paving</td><td>21%</td></tr><tr><td>Pohon</td><td>24%</td></tr><tr><td>Rumput</td><td>31%</td></tr><tr><td>Tanah</td><td>10%</td></tr></tbody></table>	Komponen Penutup Lahan	Prosentase Luas Penutup Lahan (%)	Bangunan	22%	Aspal	2%	Paving	21%	Pohon	24%	Rumput	31%	Tanah	10%
		Komponen Penutup Lahan	Prosentase Luas Penutup Lahan (%)													
Bangunan	22%															
Aspal	2%															
Paving	21%															
Pohon	24%															
Rumput	31%															
Tanah	10%															
Konfigurasi	Orientasi Kawasan	Timur Laut – Barat Daya														
	Pola Perletakan Bangunan	<ul style="list-style-type: none"><li>• Pola Menyebar</li><li>• Posisi rumah yang tidak terlalu padat dan masih terdapat lahan kosong dan vegetasi di antara rumah-rumah</li></ul>														
	Nilai H/W 	Tinggi Bangunan : 10 m Lebar Jalan : 8 m H/W : 0,5														
	Pola Perletakan Vegetasi	<ul style="list-style-type: none"><li>• Pohon terletak di sepanjang tepi jalan</li><li>• Pohon dengan tajuk (kanopi) yang lebar dan bulat, ketinggian pohon beragam berkisar 3-15m</li></ul>														
Panas Antropogenik <ul style="list-style-type: none"><li>• Frekuensi Arus Lalu Lintas</li></ul>		<ul style="list-style-type: none"><li>• Frekuensi arus lalu lintas dikategorikan sedang</li><li>• Tipe jalan : jalan lingkungan perumahan</li></ul>														





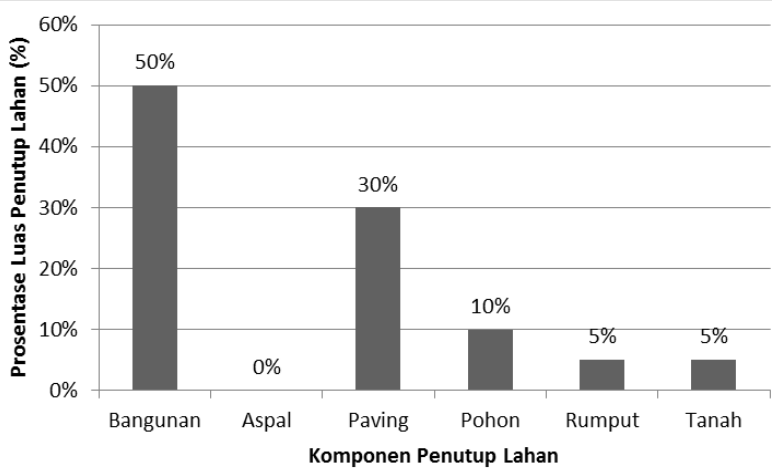
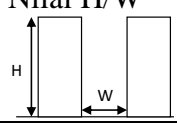
#### 4.2.8. Tipe Lansekap *Extensive Lowrise* (EL)

Tabel 4.9 Karakteristik Tipe Lansekap EL

Tipe Lansekap	EL ( <i>Extensive Lowrise</i> )
Defenisi	Tipe ini merupakan kawasan komersial, yaitu berupa bangunan pasar yang terletak di Surabaya Barat : Pasar Puncak Darmo Permai yang berada dekat kawasan perumahan, dengan luasan $\pm 250.000 \text{ m}^2$ .



Tabel 4.9 Karakteristik Tipe Lansekap EL.....(Lanjutan)

Defenisi		<div></div>														
Propertis																
Komposisi	Komponen penutup lahan terbangun terdiri dari bangunan dan jalan (aspal ). Komponen penutup lahan alami terdiri dari pohon dan rumput.	<div><table><tr><th>Komponen Penutup Lahan</th><th>Prosentase Luas Penutup Lahan (%)</th></tr><tr><td>Bangunan</td><td>50%</td></tr><tr><td>Aspal</td><td>0%</td></tr><tr><td>Paving</td><td>30%</td></tr><tr><td>Pohon</td><td>10%</td></tr><tr><td>Rumput</td><td>5%</td></tr><tr><td>Tanah</td><td>5%</td></tr></table></div>	Komponen Penutup Lahan	Prosentase Luas Penutup Lahan (%)	Bangunan	50%	Aspal	0%	Paving	30%	Pohon	10%	Rumput	5%	Tanah	5%
	Komponen Penutup Lahan	Prosentase Luas Penutup Lahan (%)														
Bangunan	50%															
Aspal	0%															
Paving	30%															
Pohon	10%															
Rumput	5%															
Tanah	5%															
Konfigurasi	Orientasi Kawasan	Barat Laut - Tenggara														
	Pola Perletakan Bangunan	<ul style="list-style-type: none"><li>• Pola Linier</li><li>• Posisi rumah yang tidak terlalu padat dan masih terdapat lahan kosong dan vegetasi di antara rumah-rumah</li></ul>														
	Nilai H/W <div></div>	Tinggi Bangunan : 12 m Lebar Jalan : 8 m H/W : 0,3														
	Pola Perletakan Vegetasi	<ul style="list-style-type: none"><li>• Pohon terletak di sepanjang tepi jalan</li><li>• Ketinggian pohon sekitar 10-15m dan bertajuk melebar dengan kerapatan daun yang jarang</li></ul>														

Tabel 4.9 Karakteristik Tipe Lansekap EL.....(Lanjutan)

Panas Antropogenik	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Frekuensi arus lalu lintas dikategorikan sedang</li> <li>• Tipe jalan : jalan lokal sekunder (menghubungkan kawasan sekunder dengan perumahan)</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Frekuensi Arus Lalu Lintas</li> </ul>	

#### 4.3. Karakteristik Pembayangan yang dihasilkan oleh Komposisi dan Konfigurasi Lansekap Ruang Kota

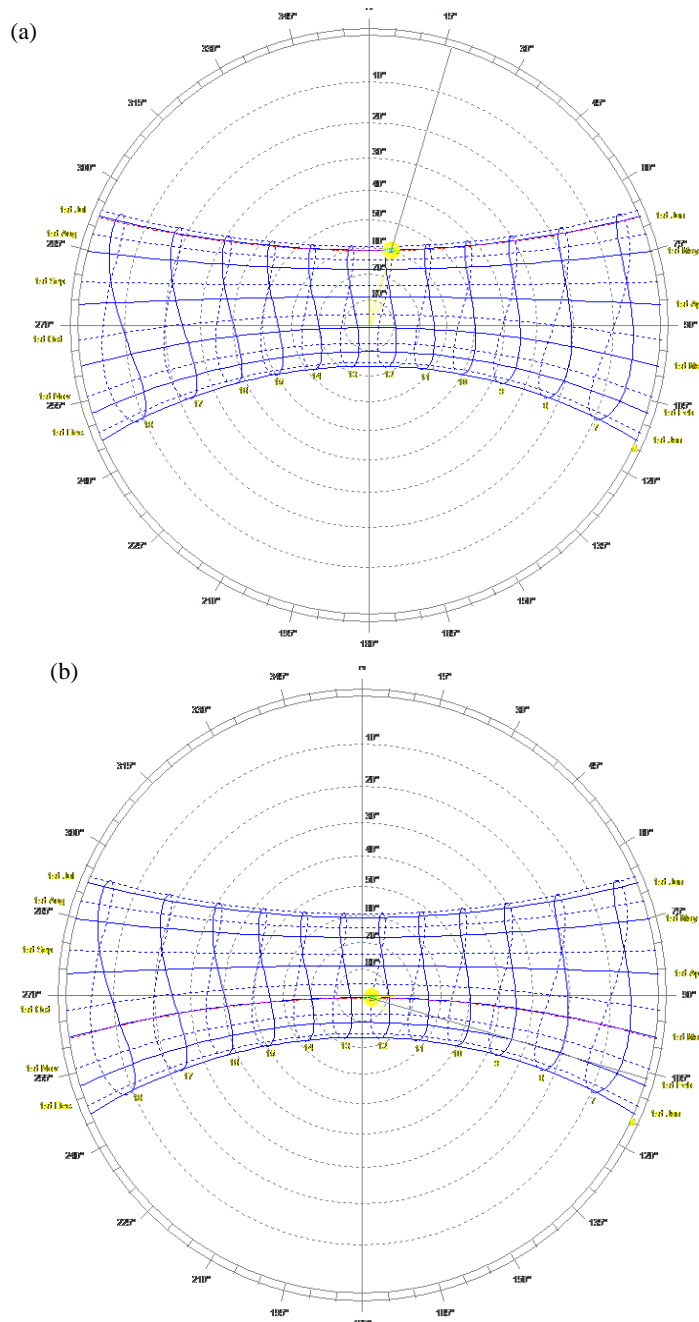
Hubungan antara komponen penutup lahan (bangunan, pohon dan bentuk tiga dimensi lainnya) dan sinar matahari adalah akan terbentuknya daerah yang terbayangi dan daerah yang tidak terbayangi. Hal ini dipengaruhi oleh posisi matahari pada suatu wilayah, yaitu : sudut jatuh sinar matahari yang ditentukan oleh posisi relatif matahari dan tempat pengamatan di bumi, sudut lintang geografis tempat pengamatan musim setempat dengan bantuan diagram matahari atau Solar Chart (Gambar 4.30), serta lama penyinaran harian (Kukreja, 1978; Satwiko, 2004). Perbandingan nilai H/W dan orientasi jalan / bangunan juga sangat menentukan hasil prosentase bayangan yang dapat mempengaruhi kondisi termal.

Tabel 4.10 Karakteristik Pembayangan

Karakteristik Pembayangan	Bulan Terdingin	Bulan Terpanas
Posisi Matahari	16,4°; 89,9°	106,2°; 66,2°
Lama Penyinaran	11 Jam	12 Jam
Jumlah Intensitas Radiasi Matahari	6502 Watt/m2 per bulan 100-900 Watt/m2 per jam	7471 Watt/m2 per bulan 200-1000 Watt/m2 per jam
Persentase pembayangan/ luas lahan (%) Pagi 08.00 Siang 12.00 Sore 16.00	Pembayangan Lebih banyak	Pembayangan Lebih Sedikit

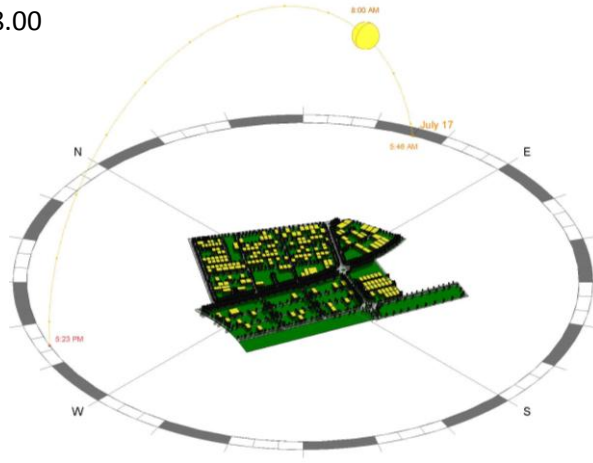
Simulasi komputer Revit dilakukan untuk mengetahui luasan bayangan yang dihasilkan pada setiap tipe lansekap. Proses simulasi dilakukan pada waktu-waktu tertentu saja sesuai waktu pengukuran di lapangan, yaitu pada bulan terdingin (bulan Juli) dan bulan terpanas (bulan Oktober). Waktu proses simulasi

dilakukan pada pukul 08.00 pagi, 12.00 siang dan 16.00 sore (Gambar 4.31). Pada saat bulan terdingin luasan bayangan yang dihasilkan cenderung lebih luas dibandingkan pada saat bulan terpanas. Karena pada saat bulan terpanas, posisi matahari mulai berada di sisi Selatan. Hal ini dapat dikatakan berada tegak lurus dengan kota Surabaya sehingga bayangan cenderung lebih sedikit (Tabel 4.10).

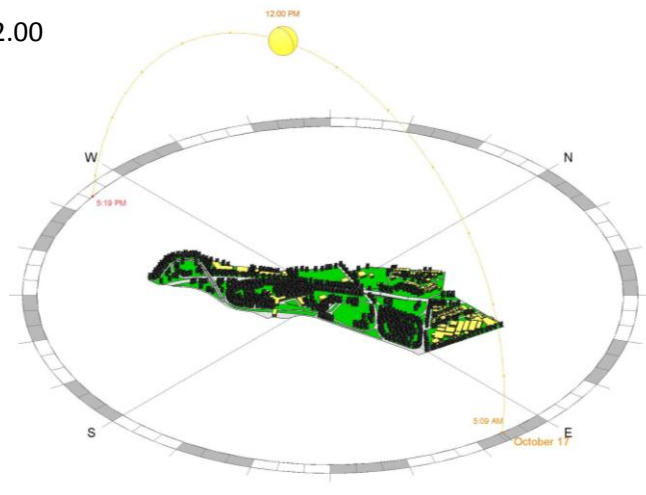


Gambar 4.5 Diagram matahari/ *Solar Chart*: posisi matahari untuk mengetahui hasil pembayangan pada (a) bulan terdingin (b) bulan terpanas (hasil simulasi Ecotect, 2011)

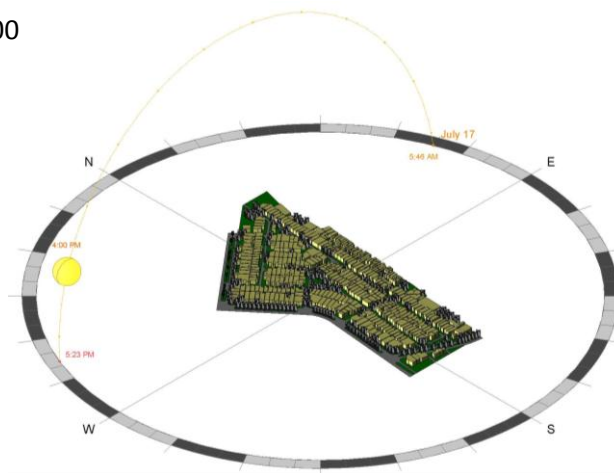
(a) Pukul 08.00



(b) Pukul 12.00



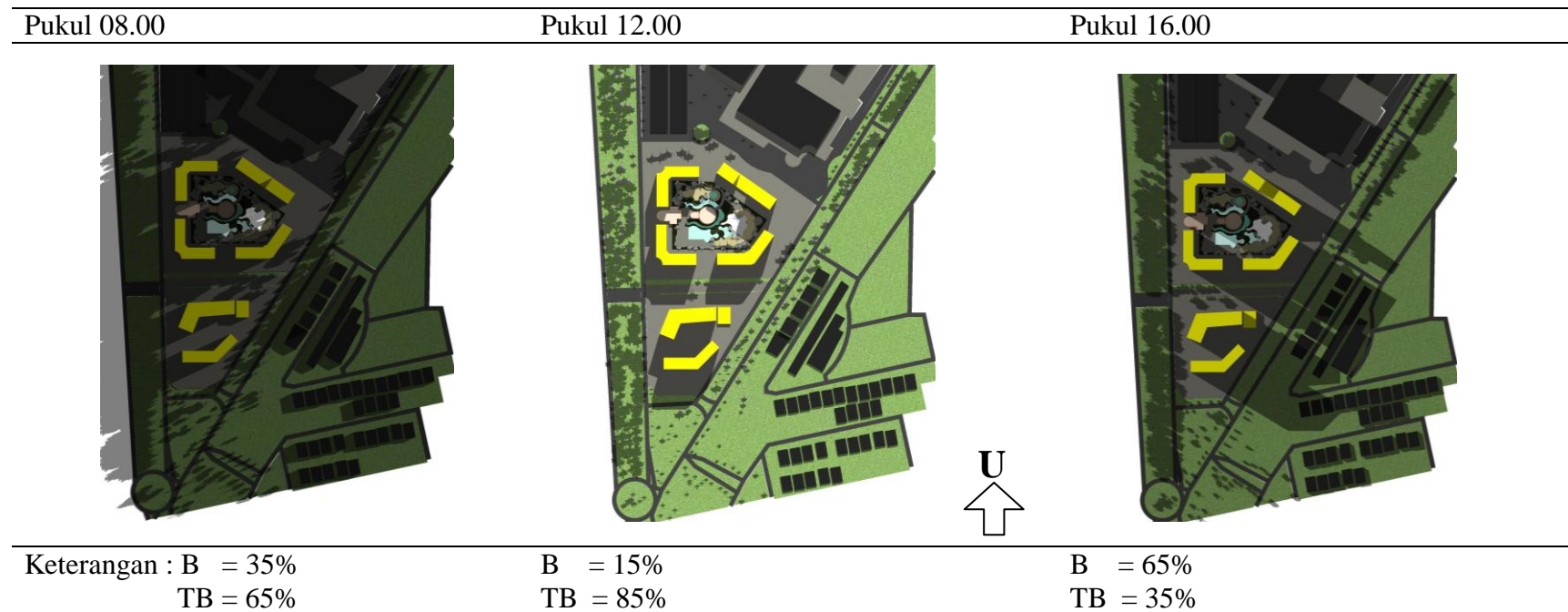
(c) Pukul 16.00



Gambar 4.6 Posisi matahari pada saat bulan terdingin dan terpanas (a) Posisi matahari di tipe *Dispersed Lowrise* jam 08.00 bulan terdingin (b) Posisi matahari di tipe *Open and Closed-set Trees* jam 12.00 bulan terpanas (c) Posisi matahari di tipe *Compact Lowrise* jam 16.00 bulan terdingin

#### 4.3.1. Tipe Lansekap *Open-set Highrise* (OSH)

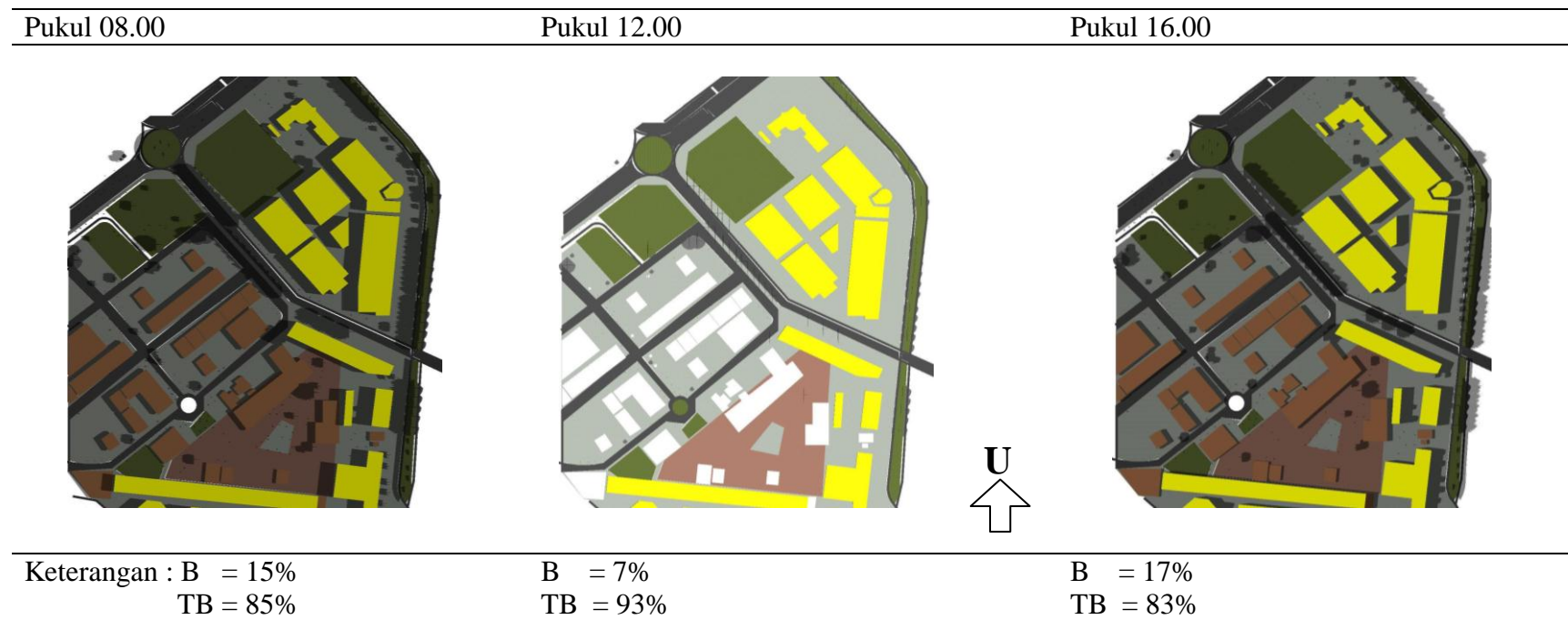
Gambar 4.32 menunjukkan hasil simulasi pembayangan pada bulan terpanas (Oktober). Tipe lansekap ini berpotensi menghasilkan prosentase pembayangan yang lebih banyak, hal ini dipengaruhi oleh nilai H/W yang cukup tinggi dan orientasi jalan yang menghadap Timur - Barat. Prosentase bayangan yang dihasilkan pada pukul 08:00 sebesar 35%, pukul 12:00 sebesar 15% dan sore hari pukul 16:00 sebesar 65%.



Gambar 4.7 Hasil Simulasi Pembayangan di Tipe *Open-set Highrise* (OSH) pada bulan terpanas (Bulan Oktober)

#### 4.3.2. Tipe Lansekap *Open-set Midrise* (OSM)

Hasil simulasi pembayangan yang dihasilkan di tipe lansekap ini cenderung sedikit mempengaruhi ke kawasan. Hal ini disebabkan karena nilai perbandingan H/W yang kecil. Adapun prosentase hasil bayangan yaitu: pukul 08:00 sebesar 15%, pukul 12:00 sebesar 7% dan pukul 16:00 sebesar 17% (Gambar 4.33).

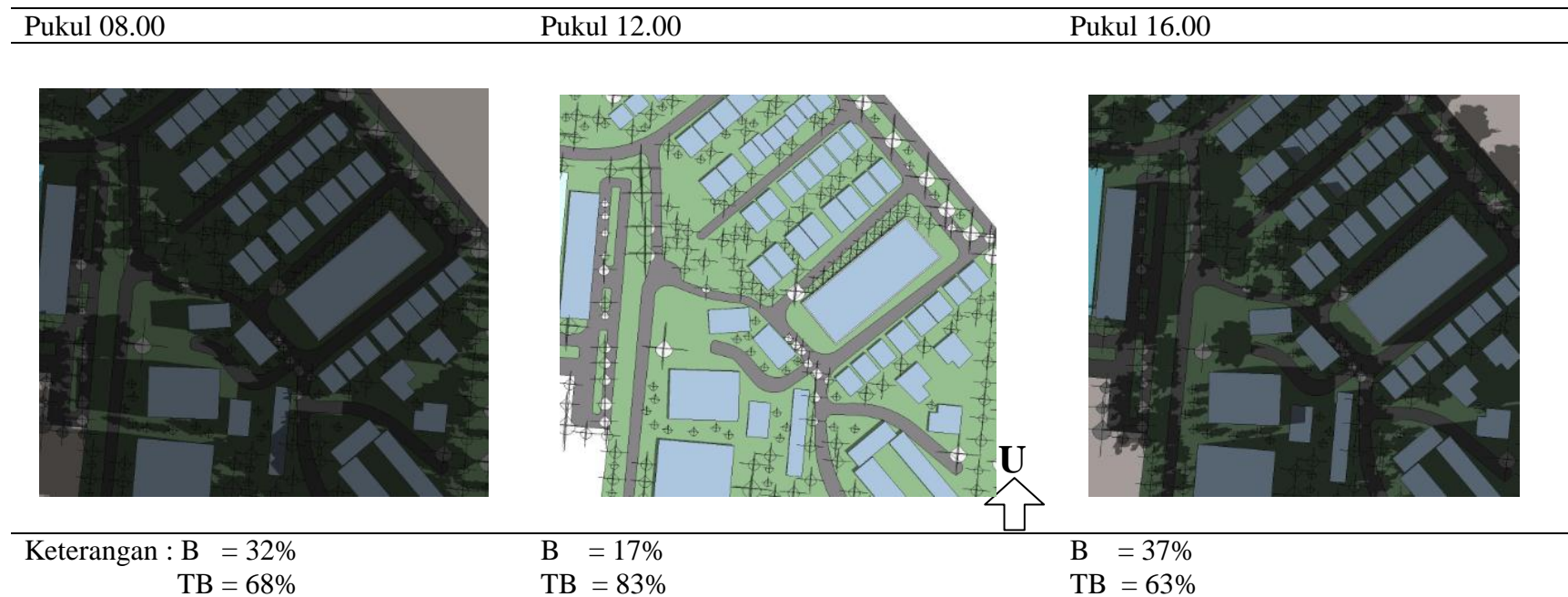


Gambar 4.8 Hasil Simulasi Pembayangan di Tipe *Open-set Midrise* (OSM) pada bulan terpanas (Bulan Oktober)



#### 4.3.3. Tipe Lansekap *Open-set Lowrise* (OSL)

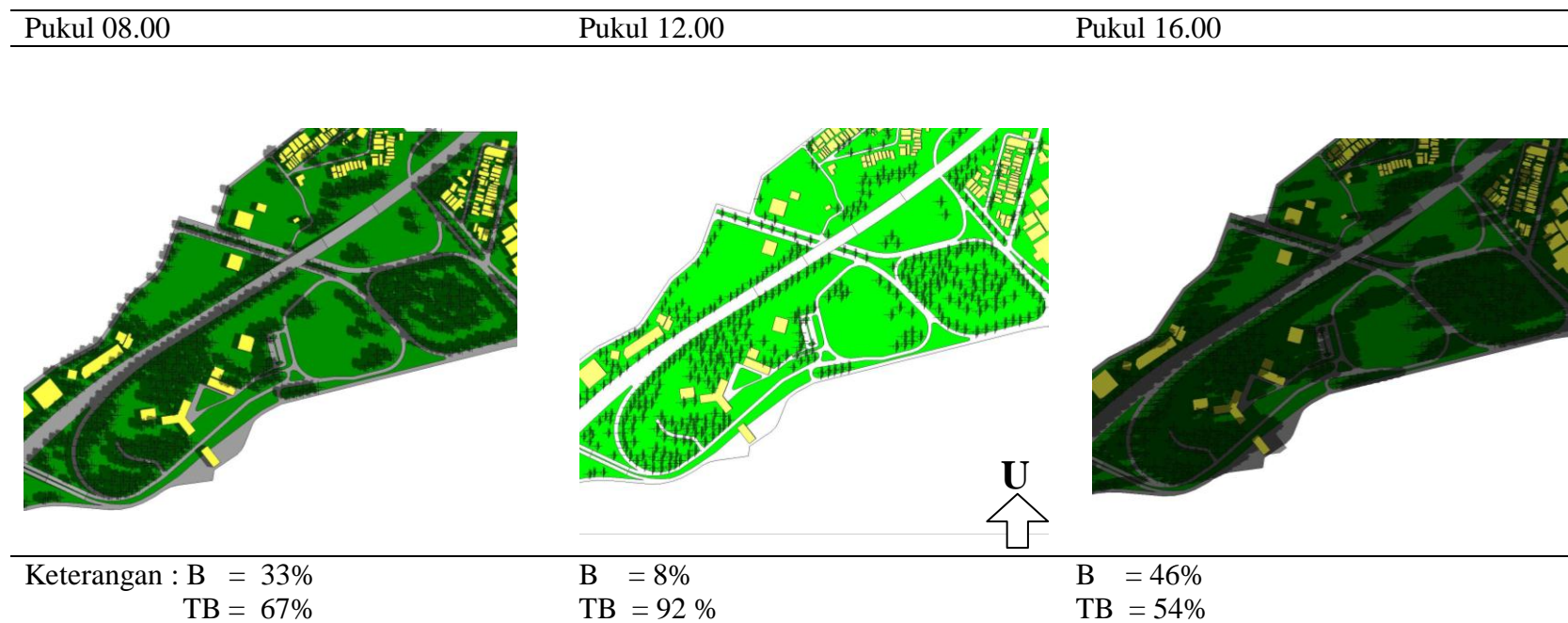
Hasil simulasi pembayangan pada tipe lansekap ini pada cenderung menghasilkan bayangan yang cukup tinggi di sepanjang koridor jalan, karena pola bangunan dan vegetasi berorientasi barat laut – tenggara dan memiliki nilai perbandingan H/W sebesar 1,2. Adapun prosentase besaran bayangan yang dihasilkan : pukul 06:00 sebesar 60%, pukul 12:00 hampir minim sekali bayangan sebesar 5% dan pukul 16:00 sebesar 40% (Gambar 4.35).



Gambar 4.9 Hasil Simulasi Pembayangan di Tipe *Open-set Lowrise* (OSL) pada bulan terpanas (Bulan Oktober)

#### 4.3.4. Tipe Lansekap *Open-set Trees* (OST)

Gambar 4.39 di bawah ini menunjukkan bahwa hasil bayangan yang dihasilkan banyak diperoleh dari pohon dibanding bangunan. Pola perletakan pohonnya cenderung mengelompok dibanding dengan mengikuti pola jalan. Adapun prosentase bayangan pada pukul 08:00 sebesar 33%, pukul 12:00 sebesar 8% dan sore hari pukul 16:00 sebesar 55%.

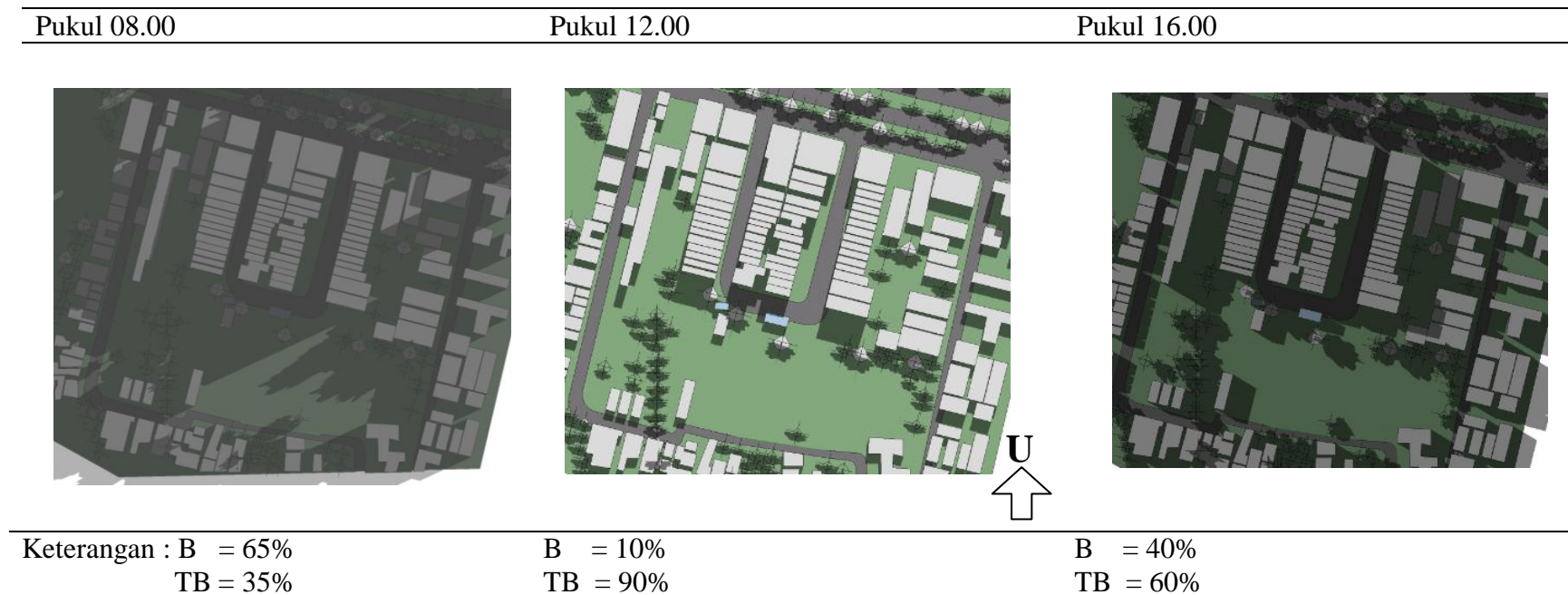


Gambar 4.10 Hasil simulasi pembayangan di tipe *Open-set Trees* (OST) pada bulan terpanas (Bulan Oktober).



#### 4.3.5. Tipe Lansekap *Compact Midrise* (CM)

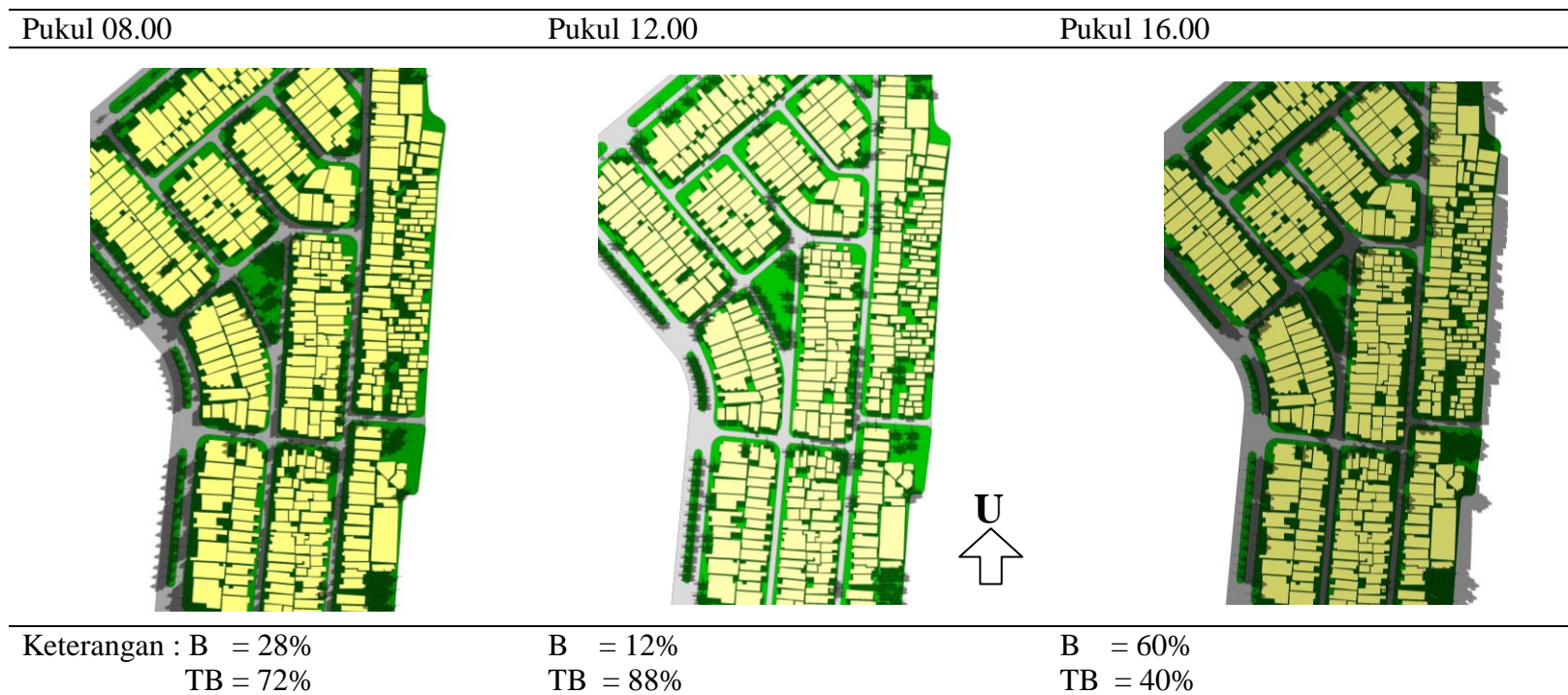
Hasil pembayangan pada tipe lansekap ini cenderung menghasilkan bayangan yang besar, hal ini dikarenakan nilai perbandingan H/W yang cukup besar yaitu 2 dan bangunan yang ada berorientasi barat timur. Bayangan yang dihasilkan lebih banyak dihasilkan oleh bangunan dibandingkan pohon. Adapun prosentase bayangan yang dihasilkan sebesar : pukul 08:00 sebesar 50%, pukul 12:00 sebesar 8% dan pukul 16:00 sebesar 40% (Gambar 4.34).



Gambar 4.11 Hasil Simulasi Pembayangan di Tipe *Compact Midrise* (CM) pada bulan terpanas (Bulan Oktober)

#### 4.3.6. Tipe Lansekap *Compact Lowrise* (CL)

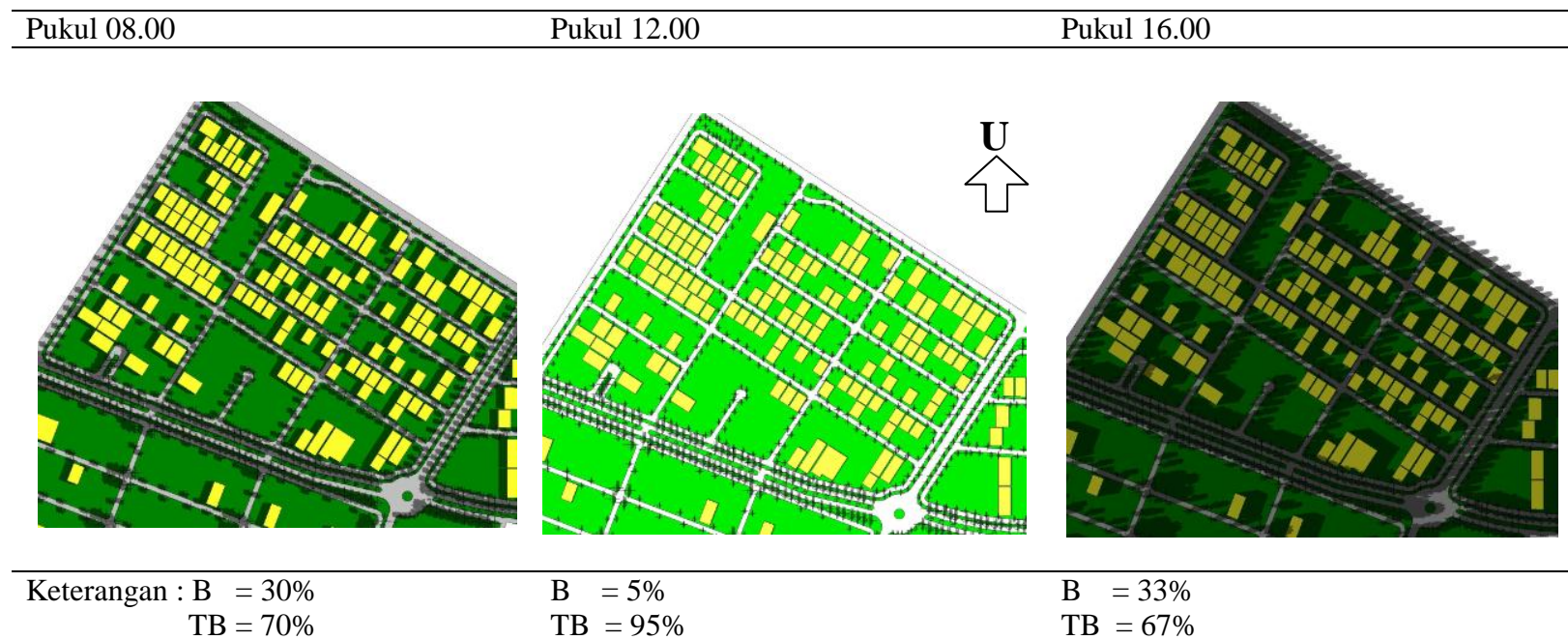
Pada tipe ini bayangan yang dihasilkan cenderung banyak pada koridor jalan, karena nilai perbandingan H/W yang tinggi dan bangunan cenderung berorientasi menghadap barat - timur. Prosentase bayangan yang dihasilkan pada pukul 08:00 sebesar 28%, pukul 12:00 sebesar 12% dan pukul 16:00 sebesar 60% (Gambar 4.36).



Gambar 4.12 Hasil simulasi pembayangan di tipe *Compact Lowrise* (CL) pada bulan terpanas (Bulan Oktober).

#### 4.3.7. Tipe Lansekap *Dispersed Lowrise* (DL)

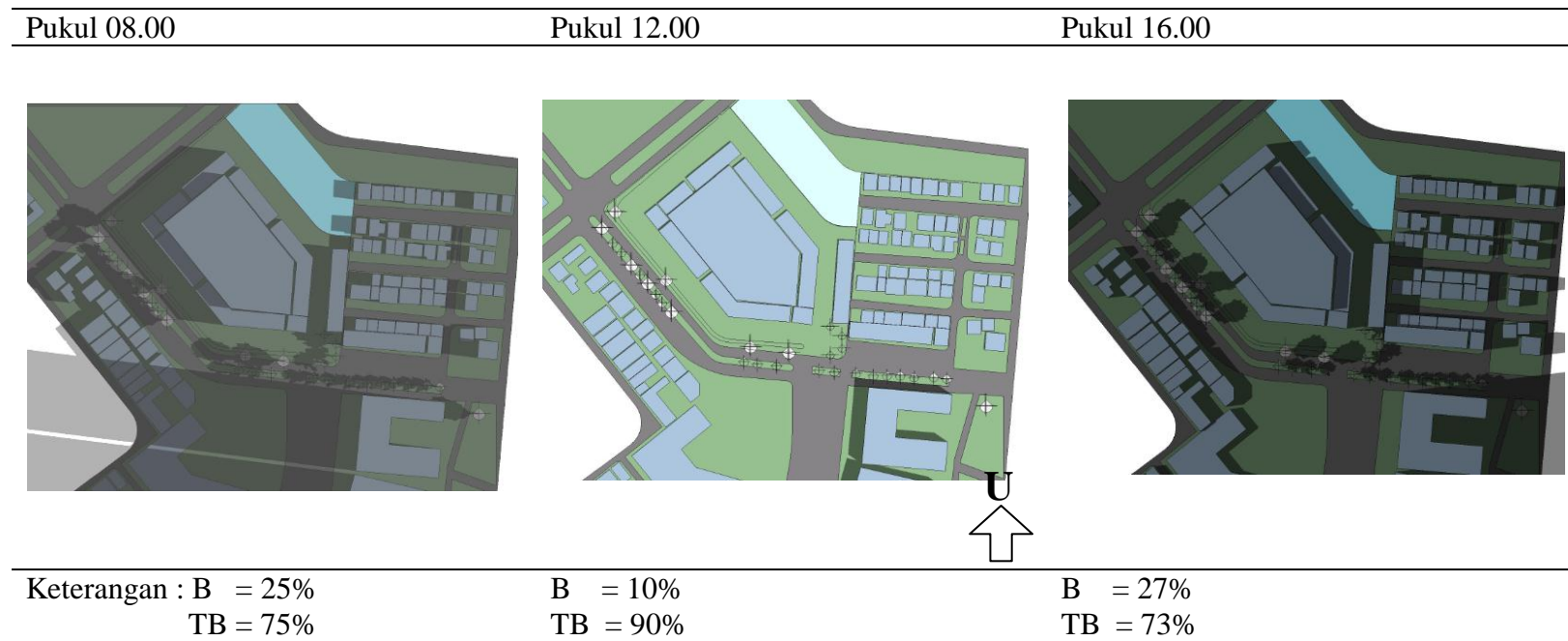
Dari hasil simulasi pembayangan yang dilakukan, pada pagi hari jam 08.00 mendapatkan bayangan sebesar 30%, siang hari jam 12.00 mendapatkan bayangan lebih sedikit yaitu 5% karena posisi matahari berada di atas pengamat/ tegak lurus dengan permukaan bumi. Sedangkan pada sore hari mendapatkan bayangan lebih banyak yaitu sekitar 33% (Gambar 4.37).



Gambar 4.13 Hasil simulasi pembayangan di tipe *Dispersed Lowrise* (DL) pada bulan terpanas (Bulan Oktober).

#### 4.3.8. Tipe Lansekap *Extensive Lowrise* (EL)

Tipe lansekap ini cenderung menghasilkan pembayangan yang sedikit karena memiliki nilai H/W yang cukup kecil, jarak antara bangunan cukup lebar, dan pola bangunan cenderung berorientasi timur laut – barat daya. Bayangan yang dihasilkan hanya di sekitaran bangunan itu sendiri dan dari pohon yang ada di sepanjang koridor jalan. Hasil bayangan yang dihasilkan pukul 06:00 sebesar 22%. Pukul 12:00 cenderung sedikit sekali sebesar 7% dan pukul 16:00 sebesar 17% (Gambar 4.38).



Gambar 4.14 Hasil simulasi pembayangan di tipe *Extensive Lowrise* (EL) pada bulan terpanas (Bulan Oktober).



#### **4.4. Rangkuman dan Diskusi**

Subbab ini akan menjawab pertanyaan penelitian pertama, yaitu tentang karakteristik komposisi dan konfigurasi lansekap ruang kota serta pembayangan yang dihasilkan oleh lansekap ruang kota.

##### **4.4.1 Karakteristik Komposisi dan Konfigurasi Lansekap Ruang Kota**

Berdasarkan deskripsi tentang tipe lansekap di atas, dapat dijelaskan bahwa setiap tipe lansekap memiliki karakteristik yang berbeda-beda. Di setiap tipe lansekap, karakteristik tersebut dideskripsikan berdasarkan komposisi dan konfigurasi lansekap. Zhou dkk (2011) dan Du, Shihong dkk (2016) menjelaskan bahwa ada dua aspek fundamental dari penutup lahan yang dapat mempengaruhi temperatur permukaan penutup lahan yaitu komposisi dan konfigurasi lansekap. Komposisi menunjukkan proporsi/persentase dari penutup lahan, sedangkan konfigurasi menunjukkan pengaturan atau distribusi dari fitur penutup lahan, dengan menggunakan metrik seperti *Patch Density (PD)*, *Standard Deviation of Shape Index (SDSI)*, *Contrast-Weighted Edge Density between building and impervious surface (CWEDBI)*. Hal ini terkait dengan memperkirakan temperatur permukaan yang dilihat berdasarkan kecerahan sensor spectral radiasi dari masing-masing penutup lahan yang dikonversi menjadi temperatur permukaan dengan menggunakan A Landsat 7 ETM+.

Sementara pada penelitian ini komposisi dan konfigurasi lansekap dijelaskan untuk melihat pengaruhnya terhadap sistem termal perkotaan. Adapun dengan beberapa parameter desain, yaitu komposisi lansekap berupa proporsi/persentase dari komponen penutup lahan dan konfigurasi lansekap berupa orientasi kawasan, pola perletakan bangunan, perbandingan nilai H/W, dan pola perletakan vegetasi serta panas antropogenik berupa frekuensi arus lalu lintas dan kepadatan aktivitas berdasarkan fungsi tipe lansekap.

Khususnya penelitian ini, komposisi dan konfigurasi lansekap yang dapat mempengaruhi sistem termal perkotaan adalah sebagai berikut:

1. Ditinjau dari fungsi: bangunan tinggi pada umumnya diperuntukkan untuk bangunan hunian (apartemen) dan komersil (hotel) dengan ketinggian bangunan lebih dari 25 lantai, bangunan menengah pada umumnya diperuntukkan untuk

komersil (komplek pertokoan/perdagangan, hunian tempat tinggal (rumah susun) dan perkantoran) dengan ketinggian bangunan 3-9 lantai, sedangkan lokasi bangunan rendah pada umumnya diperuntukkan untuk bangunan rumah tinggal dengan ketinggian 1-2 lantai.

2. Ditinjau dari aspek komposisi komponen penutup lahan: tipe lansekap *open-set*: Open-set Highrise (OSH), Open-set Midrise (OSM), Open-set Lowrise (OSL) pada umumnya didominasi oleh lahan terbangun 60-70% dan lahan alami 30-40%, tipe lansekap *compact*: Compact Midrise (CM), Compact Lowrise (CL) pada umumnya didominasi lahan terbangun 80-90% dan lahan alami 10-20%, sedangkan tipe lansekap Dispersed Lowrise (DL) dan Open-set Trees didominasi lahan alami 50-70% dan lahan terbangun 30-50%.

3. Ditinjau dari aspek konfigurasi: nilai H/W maksimal bernilai 3 yaitu pada tipe lansekap bangunan tinggi, sementara untuk bangunan menengah dan rendah nilai H/W kurang dari 2. Bangunan rata-rata memiliki pola linier, grid dan menyebar dengan berbagai macam orientasi jalan. Perletakan pohon pada umumnya berada di sepanjang jalan, namun untuk tipe lansekap yang merupakan kawasan penghijauan didominasi dengan perletakan pohon secara berkelompok.

4. Ditinjau dari aspek panas antropogenik: frekuensi arus lalu lintas ini dipengaruhi oleh keberadaan tipe lansekap tersebut. Tipe lansekap yang berada di jalan utama pada umumnya frekuensi arus lalu lintas termasuk padat (tinggi) seperti di tipe lansekap OST (*Open-set Trees*) yang merupakan kawasan penghijauan dan tipe lansekap CM (*Compact Midrise*) yang merupakan kawasan pertokoan. Sementara untuk tipe lansekap yang merupakan kawasan perumahan cenderung memiliki frekuensi arus lalu lintas sedang dan padat.

Berdasarkan karakteristik delapan tipe lansekap yang ada di lokasi penelitian dengan karakteristik berdasarkan komposisi dan konfigurasi lansekap, dapat disimpulkan bahwa kriteria LCZ (Stewart & Oke, 2009; 2012) bisa diterapkan di daerah tropis lembab sebagai acuan untuk mendesain perkotaan dengan memperhatikan komposisi dan konfigurasi lansekap. Kriteria ini diterapkan dalam 1 kawasan iklim mikro dengan radius 1-10 Km, sehingga teridentifikasi kondisi iklim mikro dan dapat menciptakan kenyamanan termal ruang luar dalam 1 kawasan iklim mikro, sehingga bisa terbentuk kenyamanan

termal ruang luar lebih luas lagi untuk sebuah perkotaan. Demikian juga Middel, dkk (2014), mendeskripsikan bahwa konsep LCZ berguna untuk mengintegrasikan pengetahuan iklim lokal dalam praktek perencanaan dan desain perkotaan serta lansekap yang dapat memperbaiki temperatur udara khususnya di daerah gurun yang beriklim semi-kering Phoenix, Arizona.

Hal ini menunjukkan bahwa konsep LCZ dari suatu tipe lansekap ruang kota dapat diterapkan diberbagai perkotaan dengan mempertimbangkan kondisi iklim setempat, sehingga dengan karakteristik berupa komposisi dan konfigurasi dari penutup lahan sebuah lansekap dapat memperbaiki temperatur udara. Sebagaimana konsep LCZ ini menawarkan dan menyampaikan prinsip-prinsip iklim perkotaan melalui skala spasial (mikro, lokal) dan elemen desain seperti tinggi bangunan dan ratio penutup lahan hijau yang relevan dengan banyak disiplin ilmu klimatologi perkotaan. Brown & Gillespie (1995), Givoni (1998) dan Brown (2011) juga menjelaskan bahwa untuk dapat memodifikasi kondisi iklim yaitu melalui sebuah desain yang menggabungkan aspek *bioclimatic* dan desain lingkungan ruang luar. Dengan demikian, penelitian dari Brown & Gillespie (1995), Givoni (1998); Brown (2011), Stewart (2009), Stewart & Oke (2012), Zhou dkk (2011) dan Du, Shihong dkk (2016) dapat dipertimbangkan dan diterapkan dalam memodifikasi kondisi lingkungan termal sehingga dapat menciptakan kenyamanan termal ruang luar (akan dibahas pada bab 5 dan 6).

#### **4.4.2 Pembayangan yang dihasilkan oleh Lansekap Ruang Kota**

Berdasarkan deskripsi tentang pembayangan yang dihasilkan oleh lansekap di atas disimpulkan bahwa besar kecilnya persentase bayangan yang dihasilkan di setiap tipe lansekap tergantung dari beberapa parameter desain: pola perletakan bangunan dan vegetasi hubungannya dengan orientasi. Tabel 4.4 menunjukkan perbandingan karakteristik pembayangan yang dihasilkan oleh ke delapan tipe lansekap yang ada pada bulan terpanas (Oktober). Tipe CM, CL, dan OSL cenderung memiliki persentase pembayangan yang besar, karena memiliki nilai H/W yang cukup tinggi (0,6 - 1,6) dan orientasi jalan yang menghadap Utara – Selatan. Begitu juga dengan tipe OSH cenderung memiliki persentase pembayangan yang baik, karena memiliki nilai H/W yang tinggi (3), walaupun

orientasi jalannya menghadap Timur – Barat. Sebaliknya untuk tipe lansekap OSM, DL dan EL cenderung menghasilkan persentase pembayangan yang kecil, karena memiliki nilai H/W (0,3 – 0,5) dan orientasi jalan cenderung menghadap Timur – Barat.

Dari hasil pengukuran di lapangan dan simulasi, untuk bangunan dan vegetasi yang berorientasi Timur – Barat cenderung menghasilkan persentase yang lebih besar dibanding berorientasi Utara – Selatan, karena dipengaruhi oleh nilai perbandingan H/W (semakin besar nilai perbandingan nilai H/W, semakin besar persentase bayangan yang dihasilkan). Sebagaimana Emmanuel dkk (2007) menjelaskan bahwa bayangan perkotaan (*Urban Shading*) merupakan fungsi dari orientasi jalan dan perbandingan nilai H/W. Namun perbandingan H/W dan orientasi jalan/bangunan ini harus sesuai untuk dapat menghasilkan pembayangan yang baik. Nilai perbandingan H/W besar dengan orientasi jalan menghadap Utara - Selatan akan menghasilkan bayangan yang baik, dibandingkan yang menghadap Timur - Barat.

Berdasarkan hasil analisa di atas, dapat disimpulkan bahwa dalam suatu tipe lansekap ruang kota untuk dapat menghasilkan pembayangan yang tepat, selain memperhatikan orientasi jalan dan nilai H/W, perlu juga memperhatikan geometri bangunan dengan penambahan *shelter design* (karena pada pukul 10:00 - 14:00 bangunan sangat sedikit menghasilkan bayangan), serta penyediaan bayangan dari pohon.

Dari hasil temuan di atas, untuk dapat menjelaskan karakteristik suatu tipe lansekap dapat diidentifikasi dan dijelaskan berdasarkan komposisi dan konfigurasi lansekap ruang kota serta pembayangan yang dihasilkan oleh lansekap ruang kota tersebut. Karakteristik lansekap ruang kota ini dapat memberikan data input untuk sebuah model sistem termal perkotaan dengan menggabungkan parameter desain perkotaan (dalam penelitian ini berupa lansekap ruang kota dengan konsep LCZ) untuk meramalkan beberapa elemen iklim seperti temperatur udara, kelembaban udara, kecepatan angin, intensitas radiasi matahari, dll. Khususnya pada penelitian ini kondisi termal pada daerah iklim tropis lembab. Hasil tersebut dapat dilihat pada Tabel 4.11 dan Tabel 4.12 yang merupakan perbandingan karakteristik dari masing-masing tipe lansekap ruang kota tersebut.



Tabel 4.11 Perbandingan Karakteristik Komposisi dan Konfigurasi Lansekap Ruang Kota

Tipe Lansekap		Open-set Highrise (OSH)	Open-set Midrise (OSM)	Open-set Lowrise (OSL)	Open-set trees (OST)	Compact Midrise (CM)	Compact Lowrise (CL)	Dispersed Lowrise (DL)	Extensive Lowrise (EL)
Karakteristik									
Luas		Radius $10^2 - 10^4$ m							
Fungsi		Kawasan Perumahan	Kawasan Pertokoan	Kawasan Perumahan	Kawasan penghijauan	Kawasan Pertokoan	Kawasan Perumahan	Kawasan Perumahan	Kawasan Komersial
Komposisi Lansekap	Persentase Komponen Lansekap								
	• Lahan terbangun								
	• Bangunan	36,6%	48,8%	40%	15%	60%	64%	21%	50%
	• Aspal	13,5%	8,6%	0%	20%	0%	9%	0%	0%
	• Paving	15,2%	21,0%	20%	2%	25%	3%	23%	30%
	• Lahan alami								
	• Pohon	17,6%	14,2%	20%	42%	7%	14%	21%	10%
Konfigurasi Lansekap	• Rumput	17,1%	7,4%	15%	14%	5%	7%	27%	5%
	• Tanah	0%	0%	5%	7%	3%	3%	8%	5%
	Orientasi Kawasan / Jalan	Barat-Timur	Barat Laut-Tenggara	Barat Laut-Tenggara	Timur Laut – Barat Daya	Utara-Selatan	Utara - Selatan	Timur Laut – Barat Daya	Barat Laut-Tenggara
	Pola Perletakan Bangunan	Pola Linear	Pola Linier	Pola Grid	Pola menyebar	Pola Grid	Pola Grid	Pola menyebar	Pola linier
	Rasio H/W	3	0,4	0,6	0,2	1,6	0,7	0,5	0,3
Panas Antropogenik-	Pola Perletakan Vegetasi	Mengikuti pola jalan dan memusat	Mengikuti pola jalan	Mengikuti pola jalan dan memusat	Memusat	Mengikuti pola jalan	Mengikuti pola jalan dan memusat	Mengikuti pola jalan	Mengikuti pola jalan
	• Bentuk Pohon								
• Frekuensi Arus Lalu Lintas	• Kerapatan Daun								
		Sedang	Sedang	Rendah	(Tinggi) Padat	Tinggi (padat)	Sedang	Sedang	Sedang

Tabel 4.12 Perbandingan Karakteristik Pembayangan yang dihasilkan oleh Komposisi dan Konfigurasi Lansekap Ruang Kota pada Bulan Terpanas (Oktober)

Prosentase pembayangan/ luas lahan (%)	Open-set Highrise (OSH)	Open-set Midrise (OSM)	Open-set Lowrise (OSL)	Open-set trees (OST)	Compact Midrise (CM)	Compact Lowrise (CL)	Dispersed Lowrise (DL)	Extensive Lowrise (EL)
	Kawasan Perumahan	Kawasan Pertokoan	Kawasan Perumahan	Kawasan penghijauan	Kawasan Pertokoan	Kawasan Perumahan	Kawasan Perumahan	Kawasan Komersial
• Bulan Terpanas								
• Pagi 08.00	35%	15%	32%	33%	65%	28%	30%	25%
• Siang 12.00	15%	7%	17%	8%	10%	12%	5%	10%
• Sore 16.00	65%	17%	37%	46%	40%	60%	33%	27%

**Halaman ini sengaja dikosongkan**

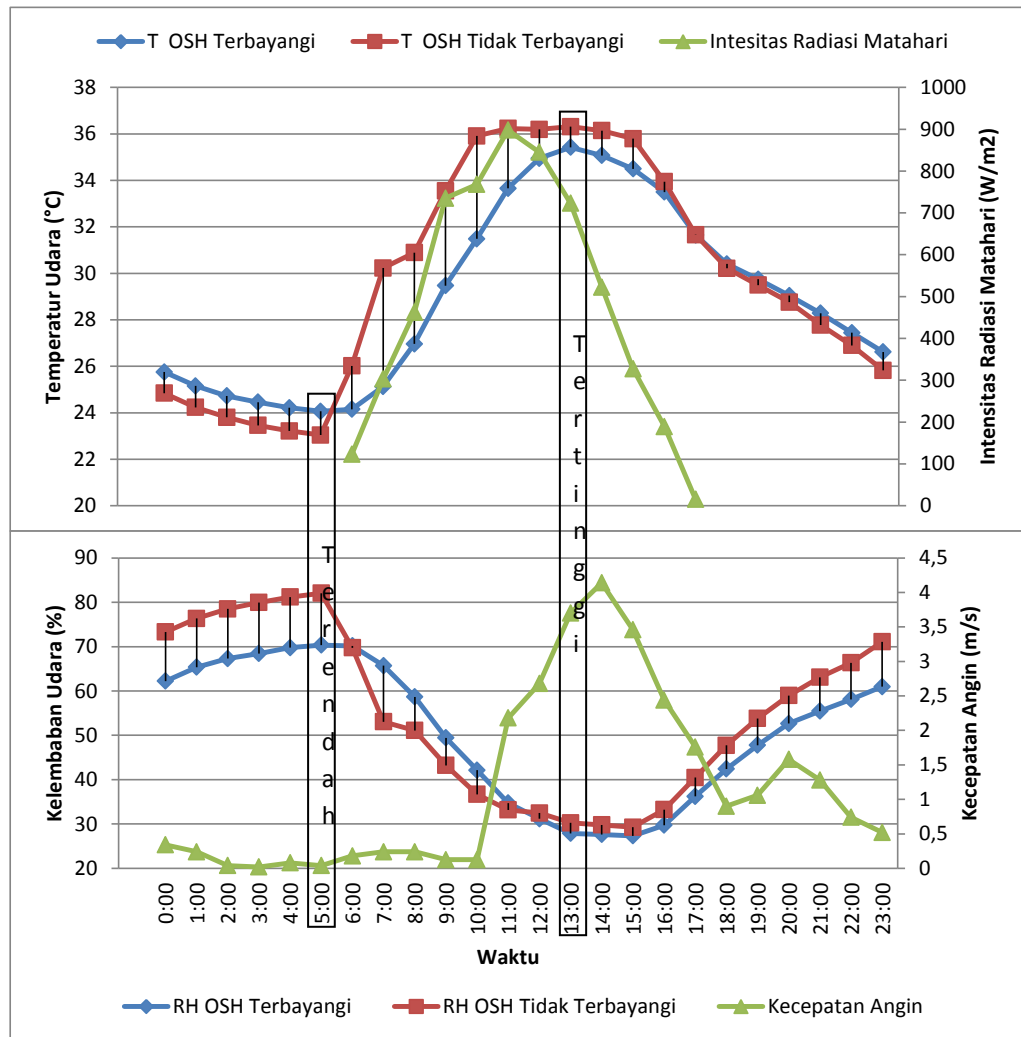
## BAB 5

### SISTEM LINGKUNGAN TERMAL PERKOTAAN

#### 5.1 Kondisi Lingkungan Termal pada Lansekap Ruang Kota

Subbab ini menjelaskan hubungan antara elemen iklim berupa temperatur udara, kelembaban udara, kecepatan angin dan intensitas radiasi matahari dari hasil pengukuran lapangan. Dari hubungan antara elemen iklim tersebut, dapat disimpulkan bagaimana pola kondisi iklim mikro selama 24 jam di setiap tipe lansekap.

##### 5.1.1 Tipe Lansekap *Open-set Highrise* (OSH)



Gambar 5.1 Kondisi Iklim Mikro di Tipe Lansekap OSH

Kondisi temperatur udara pada daerah yang terbayangi lebih rendah (1 - 5 K) dari pada daerah yang tidak terbayangi mulai pukul 6:00 – 17:00 (siang hari), sebaliknya temperatur udara pada daerah yang terbayangi lebih tinggi (0,2 – 1 K) dari pada daerah yang tidak terbayangi mulai pukul 18:00 – 05:00 (malam hari). Waktu puncak temperatur udara tertinggi pada daerah yang terbayangi (35,42 °C) dan tidak terbayangi (36,31 °C) terjadi pada pukul 13:00.

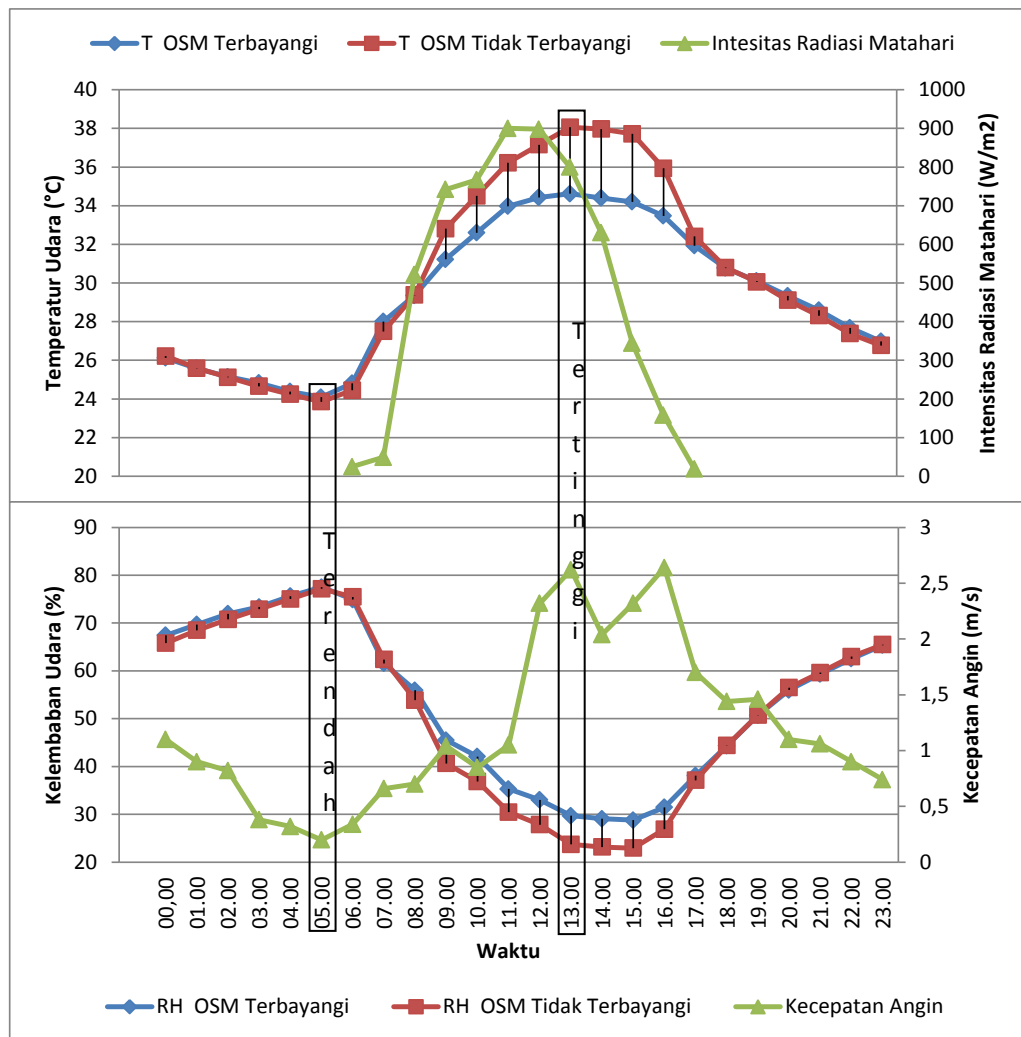
Kondisi kelembaban udara pada daerah yang terbayangi lebih tinggi 0,4 – 12,6 % dari daerah yang tidak terbayangi pada pukul 06:00 – 11:00. Pada daerah yang terbayangi kelembaban udara tertinggi sebesar 70,35 % pada pukul 05:00 dan terendah 27,33 % pada pukul 15:00. Sementara pada daerah yang tidak terbayangi kelembaban udara tertinggi 82,05 % pada pukul 05:00 dan kelembaban udara terendah 29,27 % pada pukul 15:00.

Sementara untuk kondisi kecepatan angin, selama siang hari kecepatan angin cenderung terus meningkat dengan kecepatan maksimum 4,1 m/s dan kemudian selama malam hari cenderung menurun dengan kecepatan angin rata-rata 0,57 m/s. Untuk pola pergerakan intensitas matahari cenderung memiliki pola yang sama dengan temperatur udara dan kecepatan angin.

Dari hasil pengukuran elemen-elemen iklim tersebut dapat dijelaskan kondisi iklim mikro di tipe OSH (Gambar 5.1). Selama siang hari temperatur udara rata-rata pada daerah yang terbayangi (31,33 °C) lebih rendah dibandingkan daerah tidak terbayangi (33,57 °C). Namun sebaliknya untuk kondisi malam hari, temperatur udara rata-rata terbayangi (26,66 °C) lebih tinggi dibandingkan daerah tidak terbayangi (25,96 °C). Tipe OSH ini memiliki nilai H/W 3 yang cukup tinggi dan berorientasi jalan menghadap Barat-Timur. Hal ini menguntungkan dalam perolehan kecepatan angin dan pembayangan. Tingginya nilai H/W dapat mengurangi perolehan intensitas radiasi matahari, sehingga dapat menurunkan temperatur udara pada daerah yang terbayangi selama siang hari sebesar 2,5K. Berbeda selama malam hari, pada daerah yang terbayangi dapat meningkatkan temperatur udara rata-rata sebesar 0,5K dibanding daerah tidak terbayangi, dikarenakan pelepasan panas permukaan lahan terhambat oleh bangunan tinggi tersebut dan sedikit perolehan kecepatan angin 0,57 m/s.

### 5.1.2 Tipe Lansekap *Open-set Midrise* (OSM)

Dari hasil pengukuran dapat dilihat bahwa pada daerah yang terbayangi ( $38,06^{\circ}\text{C}$ ) memiliki temperatur yang paling tinggi dibandingkan pada daerah yang tidak terbayangi ( $34,62^{\circ}\text{C}$ ). Perbedaan itu terlihat di pagi hari mulai pukul 08:00 – 18:00 dengan perbedaan peningkatan temperatur udara sebesar  $0,4 - 3,2\text{ K}$  dan di malam hari mulai pukul 19:00 – 07:00 dengan perbedaan penurunan temperatur udara sebesar  $0,2 - 0,9\text{ K}$  pada daerah yang terbayangi. Pada daerah yang tidak terbayangi terjadi peningkatan temperatur udara sebesar  $0,5 - 3,4\text{ K}$  dan penurunan temperatur udara sebesar  $0,1 - 3,5\text{ K}$ .



Gambar 5.2 Kondisi Iklim Mikro di Tipe Lansekap OSM

Pukul 00:00 – 17:00 menunjukkan kondisi kelembaban udara pada daerah yang terbayangi lebih tinggi dibandingkan pada daerah yang tidak

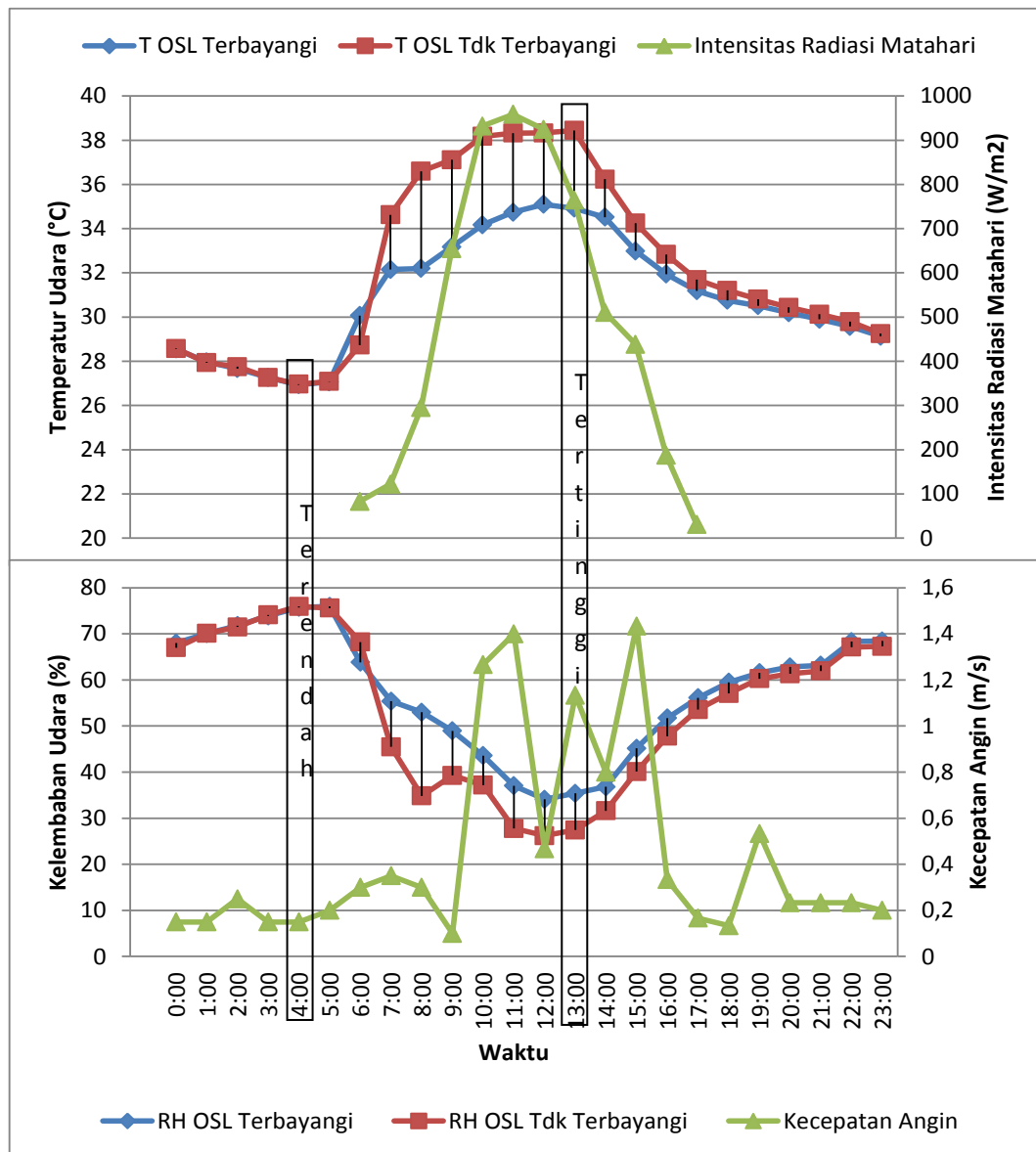
terbayangi sebesar 0,9 – 5,9 %. Dengan kelembaban udara tertinggi sebesar 77,50 % pada pukul 05:00 dan kelembaban udara terendah sebesar 28,80 % pada pukul 15:00. Sementara untuk kondisi kecepatan angin, terlihat tidak stabil setiap jam nya dengan kecepatan rata-rata 1,52 m/s selama siang hari dan 0,87 m/s selama malam hari.

Perbedaan yang signifikan antara daerah yang terbayangi (31,92 °C) dan tidak terbayangi (33,67 °C), baru terlihat mulai pukul 09:00 – 16:00 (selama siang hari). Hal ini dipengaruhi oleh peningkatan intensitas radiasi matahari yang drastis mulai pukul 08:00. Selain itu, nilai H/W 0,4 dan berorientasi jalan menghadap Barat Laut-Tenggara juga mempengaruhi penerimaan radiasi matahari yang cukup tinggi. Sejalan dengan persentase penutup lahan terbangun (bangunan, aspal dan paving) lebih mendominasi dibanding penutup lahan alami, sehingga peningkatan temperatur udara terus meningkat selama siang hari. Demikian juga untuk kondisi kelembaban udara. Namun selama malam hari memiliki kondisi temperatur dan kelembaban udara rata-rata yang hampir sama baik pada daerah yang terbayangi dan tidak terbayangi (Gambar 5.2).

### **5.1.3 Tipe Lansekap *Open-set Lowrise* (OSL)**

Gambar 5.3 menunjukkan hampir sepanjang hari temperatur udara daerah tidak terbayangi lebih tinggi dibandingkan daerah terbayangi, dengan perbedaan temperatur mencapai 4.39 K. Namun terlihat pada pukul 05:00 – 06:00 temperatur daerah terbayangi lebih tinggi dibanding temperatur tidak terbayangi. Waktu puncak temperatur tertinggi terjadi pada pukul 13:00 yaitu sebesar 34,92 °C (daerah terbayangi) dan 38,44 °C (daerah tidak terbayangi). Peningkatan dan penurunan temperatur udara sejalan dengan peningkatan intensitas radiasi matahari.

Kondisi kelembaban udara di tipe lansekap OSL pada daerah terbayangi menunjukkan nilai kelembaban udara lebih tinggi 1 – 18% dibanding daerah yang tidak terbayangi hampir sepanjang hari. Nilai kelembaban udara tertinggi terjadi pada pukul 04:00 sebesar 75,94% baik pada daerah yang terbayangi dan tidak terbayangi, dan nilai kelembaban terendah sebesar 34,11% (daerah terbayangi), 26,22% (daerah tidak terbayangi) pada pukul 12:00.



Gambar 5.3 Kondisi Iklim Mikro di Tipe Lansekap OSL

Seperti tipe-tipe lansekap sebelumnya, untuk kondisi kecepatan angin juga tidak menentu setiap jamnya. Peningkatan kecepatan angin mulai terlihat dari pukul 09:00, selama siang hari kecepatan angin rata-rata sebesar 0,67 m/s dan 0,22 m/s selama malam hari. Kecilnya kecepatan angin yang terjadi dipengaruhi oleh orientasi jalan yang menghadap Barat Laut – Tenggara dan nilai H/W 0,6 serta pola perletakan bangunan yang berupa grid. Namun menguntungkan dalam perolehan persentase bayangan.

Persentase bayangan inilah yang menunjukkan terjadinya perbedaan yang signifikan antara daerah yang terbayangi (33,10 °C) dan tidak terbayangi



(35,45 °C) selama siang hari. Namun selama malam hari baik daerah yang terbayangi dan tidak terbayangi hampir memiliki temperatur udara rata-rata yang sama sebesar 28,93 °C. Begitu juga untuk kondisi kelembaban udara rata-rata selama siang dan malam hari, yang memiliki pola berbanding terbalik dengan temperatur udara. Selama malam hari, panas yang tersimpan dari siang hari oleh permukaan lahan dapat dilepas ke permukaan udara secara bebas, karena tipe OSL ini merupakan tipe lansekap dengan bangunan rendah yang bersifat tidak padat.

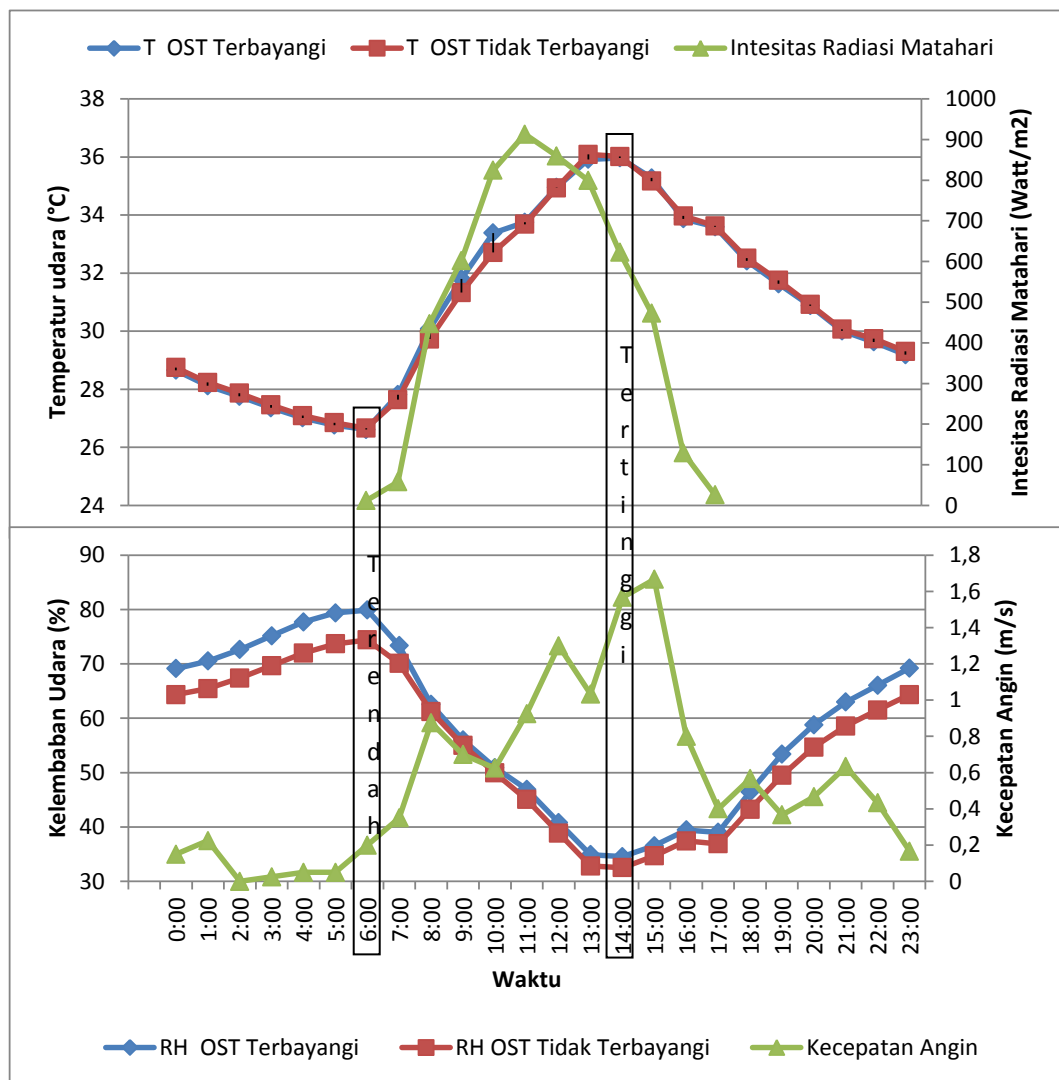
#### **5.1.4 Tipe Lansekap *Open-set Trees* (OST)**

Kondisi temperatur udara di tipe OST ini memiliki pola yang berbeda dengan tipe lansekap lainnya. Pada tipe ini temperatur udara pada daerah yang terbayangi lebih tinggi dibandingkan pada daerah yang tidak terbayangi pada siang hari (07:00 – 12:00). Demikian juga dalam peningkatan temperatur udara tertinggi, pada daerah terbayangi lebih lambat 1 jam (pukul 15:00) dalam mencapai waktu puncak temperatur tertinggi dibandingkan daerah yang tidak terbayangi (pukul 14:00). Perbedaan temperatur udara di dua kondisi setiap jamnya juga tidak begitu besar yaitu berkisar 0,01 – 0,17 K (Gambar 5.4).

Tetapi untuk pola kelembaban udara yang sama dengan tipe DL dan EL yaitu kelembaban udara pada daerah yang terbayangi lebih tinggi dibandingkan daerah yang tidak terbayangi selama sepanjang hari. Dengan perbedaan sebesar 1,5 – 5,7 %. Pada daerah yang terbayangi nilai kelembaban udara tertinggi sebesar 79,89 % pada pukul 06:00 dan kelembaban udara terendah sebesar 34,54 % pada pukul 14:00. Sementara pada daerah yang tidak terbayangi nilai kelembaban udara tertinggi sebesar 74,41 % pada pukul 06:00 dan terendah 32,53 % pada pukul 14:00.

Tipe OST ini merupakan tipe lansekap kawasan penghijauan, dimana persentase penutup lahan alami lebih mendominasi dibandingkan penutup lahan buatan. Perbedaan yang menyebabkan temperatur daerah terbayangi lebih tinggi dibandingkan daerah tidak terbayangi, salah satunya dipengaruhi oleh konfigurasi lansekap. Konfigurasinya berupa penataan pola vegetasi yang lebih mendominasi perletakan memusat dibandingkan mengikuti pola jalan. Hal ini tentunya dapat mempengaruhi dalam perolehan kecepatan angin. Kecepatan angin yang ada kecil

sekali sebesar 0,87 m/s selama siang hari dan 0,26 selama malam hari. Namun perbedaan ini hanya terjadi pagi hari mulai pukul 07:00 – 12:00. Di mana saat itu mulai terjadinya peningkatan intensitas radiasi matahari dan masih kecilnya kecepatan angin.

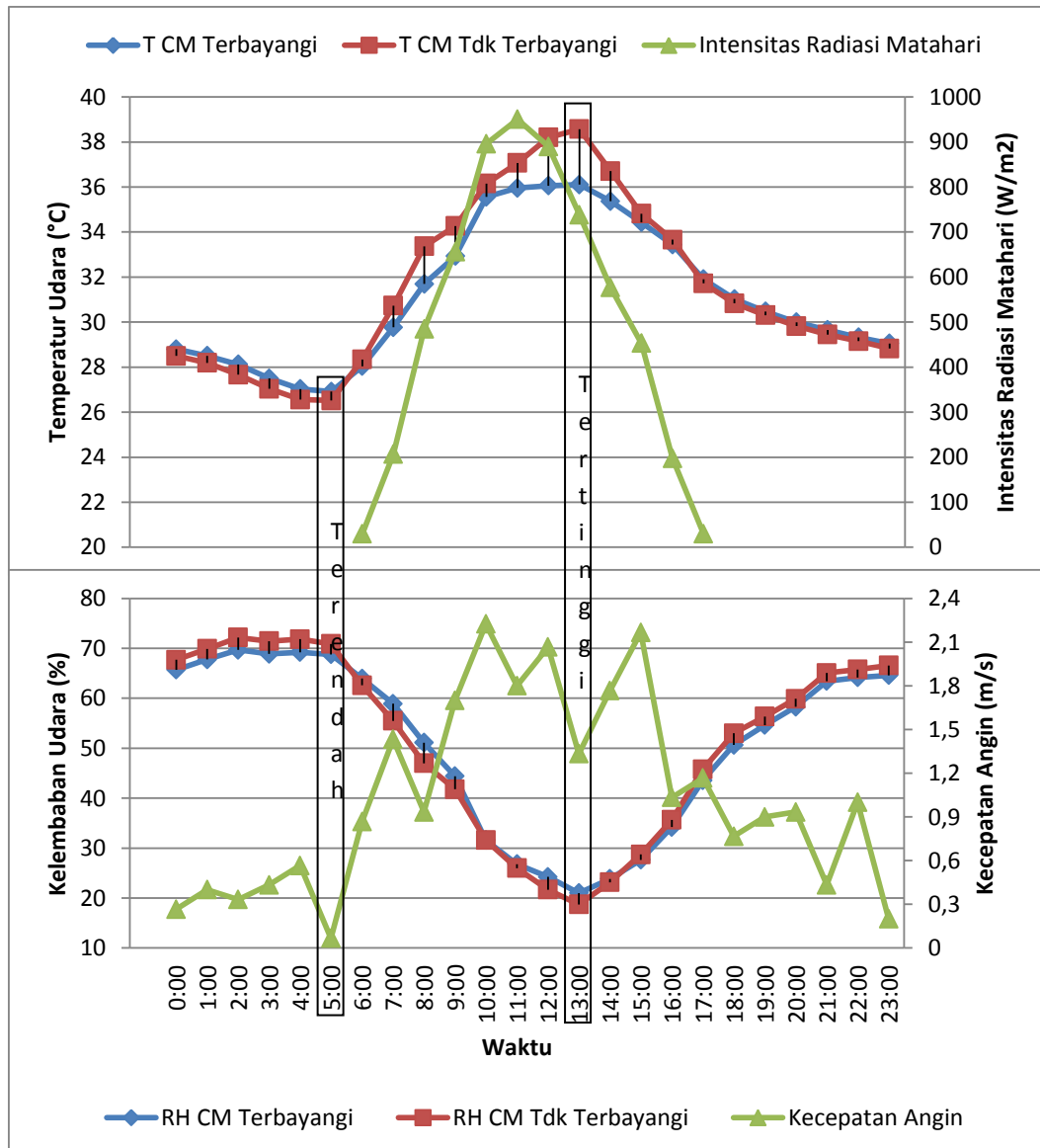


Gambar 5.4 Kondisi Iklim Mikro di Tipe Lansekap OST

Karakteristik dari tipe OST ini sangat menguntungkan dalam perolehan persentase bayangan, karena pepohonan yang ada dapat menghalangi penerimaan intensitas radiasi matahari. Namun, karena sedikit mendapatkan perolehan kecepatan angin makanya daerah yang terbayangi memiliki temperatur udara yang tinggi ditambah dengan kelembaban udara yang tinggi yang dihasilkan oleh

pepohonan. Dalam hal ini, konfigurasi menjadi sangat penting untuk dipertimbangkan.

### 5.1.5 Tipe Lansekap *Compact Midrise* (CM)



Gambar 5.5 Kondisi Iklim Mikro di Tipe Lansekap CM

Berdasarkan hasil pengukuran lapangan temperatur udara daerah terbayangi lebih tinggi dibanding temperatur daerah tidak terbayangi pada pukul 17:00 – 05:00 sebesar 0,1 – 0,4 K. Sebaliknya temperatur daerah tidak terbayangi lebih tinggi dibanding temperatur daerah terbayangi pada pukul 06:00–16:00 sebesar 0,2 – 2,4 K. Waktu puncak temperatur tertinggi pada daerah terbayangi

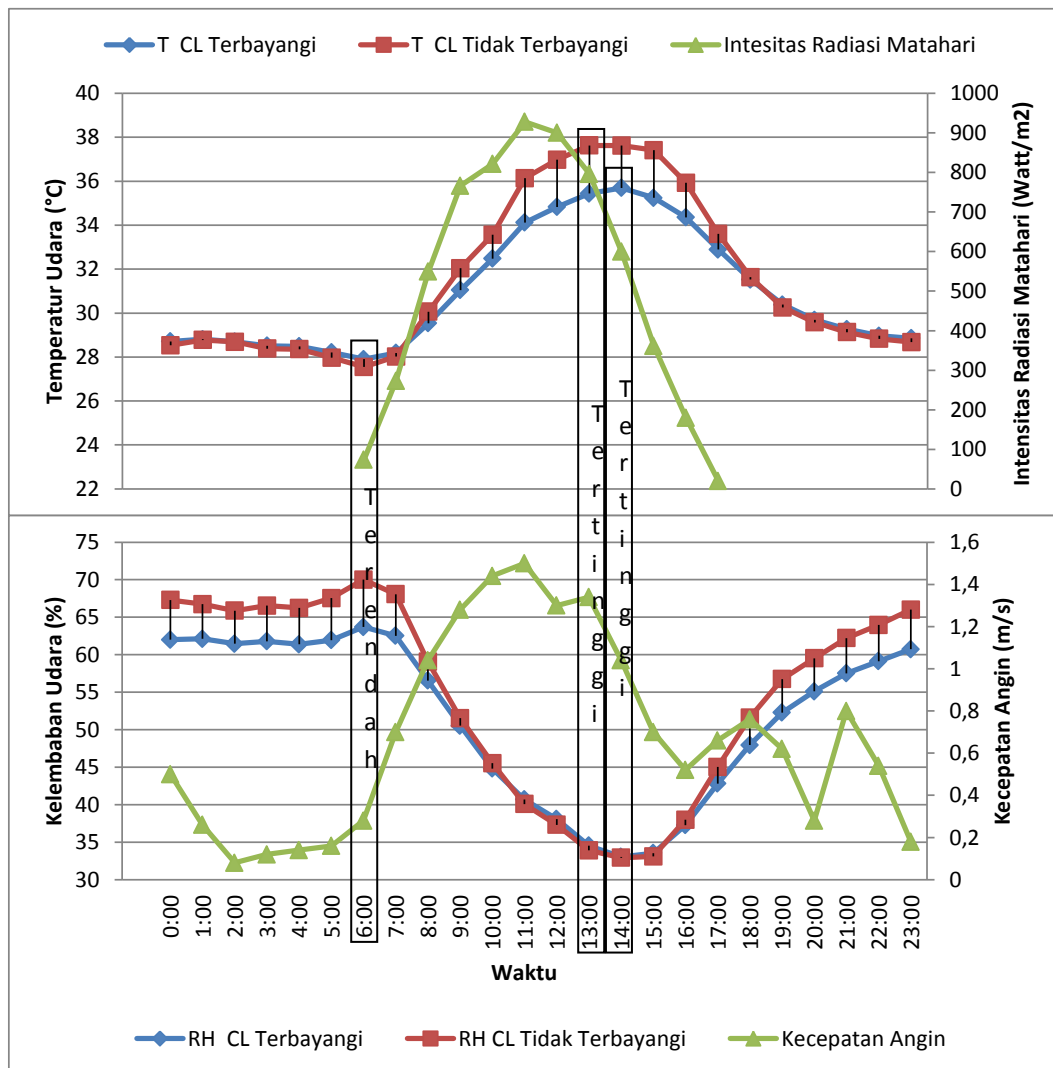
(36,11 °C) dan tidak terbayangi (38,57 °C) terjadi pada pukul 14:00. Perbedaan temperatur tersebut tidak begitu signifikan terlihat, karena daerah yang terbayangi cenderung mendapatkan bayangan dari bangunan. Persentase penutup lahan buatan lebih mendominasi 85% dibandingkan penutup lahan alami 15%. Demikian juga untuk kondisi kelembaban udara, hampir sepanjang hari memiliki nilai kelembaban udara rata-rata yang sama (Gambar 5.5).

Waktu puncak kelembaban udara tertinggi di daerah terbayangi lebih lambat 2 jam dibandingkan daerah tidak terbayangi, yaitu dengan nilai 69,67% pukul 04:00 dan 72,17% pukul 02:00 pada daerah yang tidak terbayangi. Kelembaban udara pada daerah terbayangi lebih tinggi 0 – 4,11% dibandingkan daerah tidak terbayangi pada pukul 06:00 – 14:00, demikian sebaliknya kelembaban udara daerah tidak terbayangi lebih tinggi 1 – 2,6% dari pada daerah terbayangi pada pukul 15:00 – 05:00. Kondisi peningkatan dan penurunan kecepatan angin tidak menentu setiap jamnya, selama siang hari kecepatan angin rata-rata sebesar 1,54 m/s dan 0,53 m/s selama malam hari.

Hal ini dipengaruhi oleh orientasi jalan yang menghadap Utara-Selatan dan nilai H/W 1,6, sehingga tidak menguntungkan dalam perolehan kecepatan angin yang tinggi, namun menguntungkan dalam perolehan persentase bayangan. Perolehan persentase bayangan ini juga tidak cukup untuk menurunkan temperatur udara, baik selama siang dan malam hari. Dikarenakan kecepatan angin yang ada belum cukup untuk dapat menurunkan temperatur udara di tipe CM ini yang juga merupakan tipe lansekap yang bersifat bangunan menengah padat.

#### **5.1.6 Tipe Lansekap *Compact Lowrise* (CL)**

Kondisi temperatur udara di tipe lansekap Compact Lowrise (CL) menggambarkan bahwa pada daerah yang tidak terbayangi lebih cepat satu jam (pukul 13:00) dari pada daerah yang terbayangi (14:00) dalam mencapai waktu puncak temperatur udara tertinggi. Pada daerah yang tidak terbayangi (37,63 °C) memiliki temperatur udara tertinggi dari pada daerah yang terbayangi (35,70 °C) mulai pukul 08:00 – 18:00. Namun sebaliknya daerah yang tidak terbayangi (27,55 °C) memiliki temperatur udara terendah dibandingkan pada daerah yang terbayangi (27,9 °C) mulai pukul 19:00 – 07:00 (Gambar 5.6).



Gambar 5.6. Kondisi Iklim Mikro di Tipe Lansekap CL

Kondisi kelembaban udara pada daerah terbayangi lebih tinggi sebesar 0,1 -0,7 % dari pada daerah yang tidak terbayangi selama 4 jam yaitu mulai pukul 11:00 – 15:00 (selama siang hari). Dengan nilai kelembaban udara tertinggi sebesar 63,69 % pada pukul 06:00 dan nilai kelembaban udara terendah 33,05 % pada pukul 14:00. Namun, sebaliknya kondisi kelembaban udara pada daerah yang terbayangi lebih rendah 0,7 – 6,3 % dibandingkan daerah yang tidak terbayangi pada pukul 16:00 – 10:00 (selama malam hari).

Untuk kondisi kecepatan angin, pola peningkatan dan penurunannya hampir cenderung mengikuti pola temperatur udara dan intesitas radiasi matahari. Selama siang kecepatan angin rata-rata sebesar 0,98 m/s dan 0,37 m/s selama malam hari. Tipe CL ini memiliki orientasi jalan menghadap Utara-Selatan,

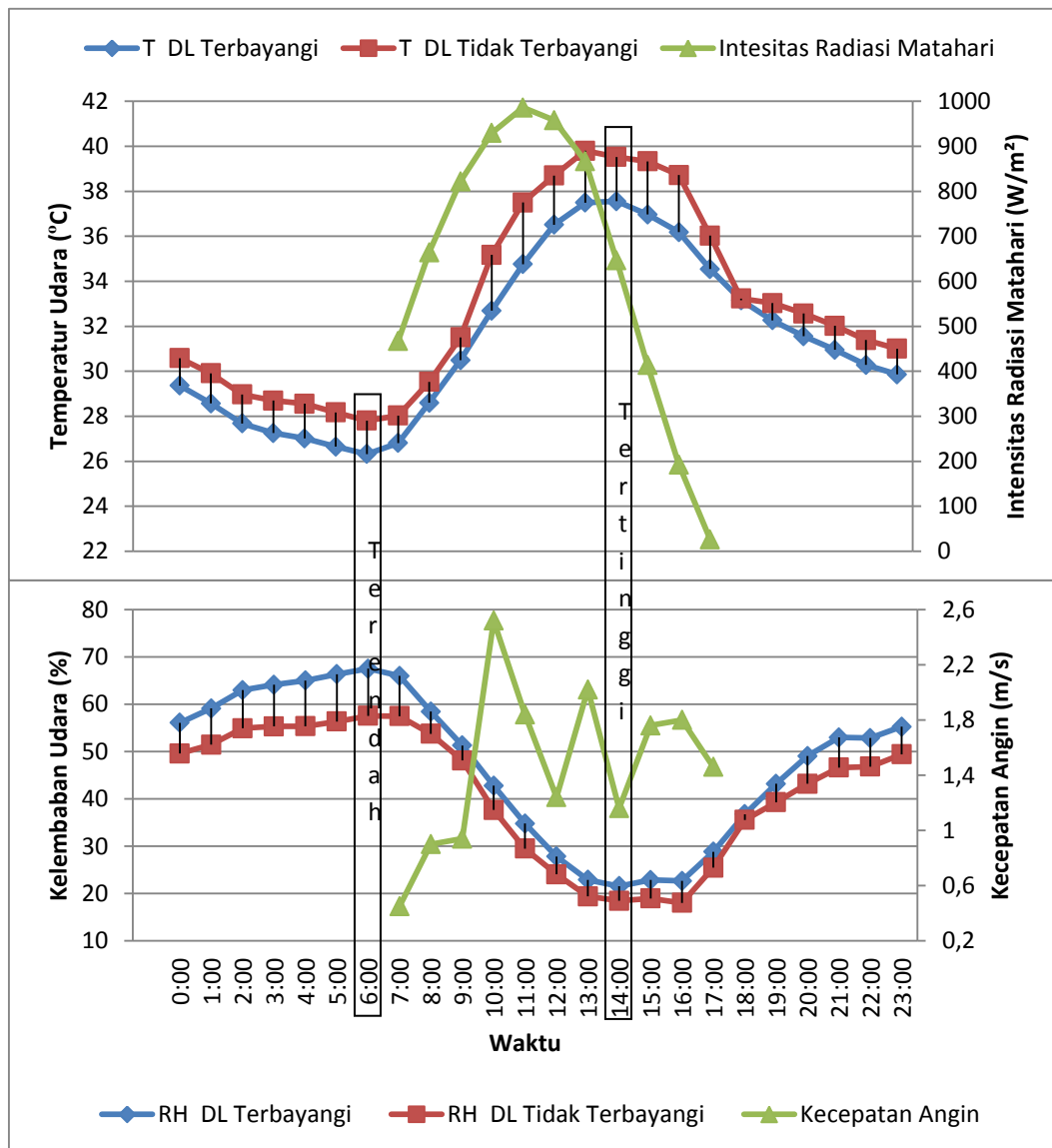
sehingga sedikit tidak menguntungkan dalam perolehan kecepatan angin yang tinggi. Namun, menguntungkan dalam perolehan persentase bayangan. Mulai pukul 16:00 perolehan persentase bayangan mencapai 60% sehingga kondisi temperatur udara daerah tidak terbayangi hampir mendekati daerah terbayangi, bahkan selama malam hari menunjukkan temperatur yang lebih tinggi. Hal ini juga yang mempengaruhi kelembaban udara rata-rata selama malam hari pada daerah yang tidak terbayangi lebih tinggi dibandingkan daerah terbayangi sebesar 5,34%.

Berbeda dengan kondisi siang hari, perbedaan temperatur udara terlihat signifikan antara daerah yang terbayangi dan tidak terbayangi sebesar 2,19K. Walaupun tipe ini berorientasi Utara-Selatan yang artinya sangat menguntungkan dalam perolehan bayangan yang cukup besar pada pagi dan sore hari, namun hanya memiliki nilai  $H/W = 0,7$  sehingga selama siang hari perolehan bayangan dari bangunan saja tidak mencukupi. Persentase penutup lahan terbangun lebih mendominasi dari penutup lahan alami. Makanya terlihat perbedaan temperatur udara yang signifikan.

#### **5.1.7 Tipe Lansekap *Dispersed Lowrise* (DL)**

Pada daerah yang tidak terbayangi temperatur udara lebih tinggi dibandingkan pada daerah yang terbayangi hampir sepanjang hari (24 jam). Terdapat perbedaan temperatur sebesar 0,08 – 2,7 K. Pada daerah yang tidak terbayangi temperatur udara tertinggi terjadi pada pukul 13:00 (39,8 °C) dan temperatur udara terendah terjadi pada pukul 06:00 (27,81 °C). Terjadi perbedaan selisih satu jam dalam mencapai waktu puncak temperatur tertinggi. Daerah yang terbayangi lebih cepat satu jam dibandingkan pada daerah yang tidak terbayangi.

Berbanding terbalik dengan kondisi kelembaban udara, selama sepanjang hari pada daerah yang terbayangi lebih tinggi dibandingkan pada daerah yang tidak terbayangi yaitu berkisar 1,2 – 9,9 %. Pada daerah yang terbayangi kelembaban udara tertinggi sebesar 67,48 % pada pukul 06:00 dan kelembaban udara terendah sebesar 21,56 % pada pukul 14:00. Sementara pada daerah yang tidak terbayangi nilai kelembaban udara tertinggi sebesar 57,53 % pada pukul 06:00 dan kelembaban udara terendah sebesar 18,01 % pada pukul 16:00.



Gambar 5.7 Kondisi Iklim Mikro di Tipe Lansekap DL

Tipe DL ini merupakan bangunan tingkat rendah dengan pola menyebar dengan nilai  $H/W = 0,5$  dan berorientasi Timur Laut – Barat Daya. Karakteristik tersebut dapat meningkatkan penerimaan intensitas radiasi matahari dan berkurangnya perolehan persentase bayangan, sehingga terlihat perbedaan yang signifikan antara daerah terbayangi dan tidak terbayangi mencapai 2,30K selama sepanjang hari (Gambar 5.7). Begitu juga untuk kondisi kelembaban udara, tingginya kelembaban udara pada daerah terbayangi lebih tinggi 10% dibanding daerah yang tidak terbayangi. Hal ini dipengaruhi oleh penutup lahan alami (66%) (rumput (31%) dan pohon (24%)) lebih mendominasi dibandingkan penutup

lahan buatan (34%). Persentase bayangannya lebih banyak dihasilkan oleh pohon dibandingkan bangunan. Walaupun didominasi oleh penutup lahan alami, tetapi tidak terlepas dari penataan perletakan vegetasi dan orientasi, sehingga kecepatan angin (1,56 m/s) yang ada belum cukup untuk dapat menurunkan temperatur udara.

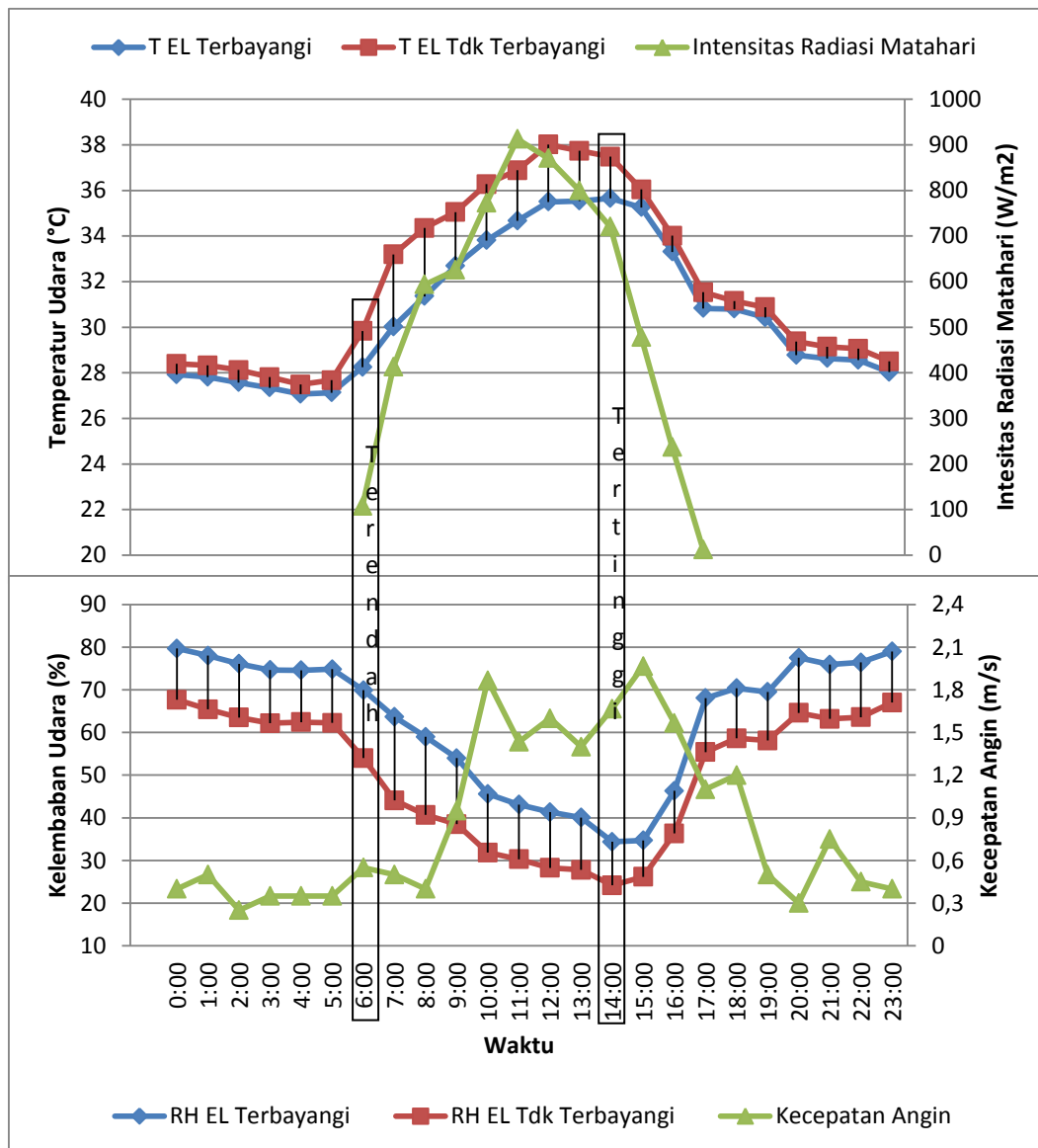
#### **5.1.8 Tipe Lansekap *Extensive Lowrise* (EL)**

Di tipe lansekap EL ini menunjukkan kondisi yang sama dengan tipe DL bahwa temperatur udara daerah tidak terbayangi lebih tinggi dibanding daerah terbayangi hampir sepanjang hari (24 jam), dengan perbedaan temperatur 0,4 - 3 K. Waktu puncak temperatur tertinggi pada daerah terbayangi lebih lambat 2 jam dibanding daerah tidak terbayangi. Waktu puncak daerah terbayangi pukul 14:00 (35,65 °C) dan daerah tidak terbayangi pukul 12:00 (38,02°C).

Begitu juga kondisi kelembaban udara pada daerah terbayangi menunjukkan lebih tinggi dibandingkan daerah yang tidak terbayangi selama sepanjang hari (24 jam) sebesar 19,58%. Namun, di tipe ini proses peningkatan kelembaban udara lebih pendek waktunya (16:00 – 23:00) dibandingkan dengan penurunan nilai kelembaban udara yaitu mulai pukul 00:00 sampai 15:00. Kondisi kecepatan angin tidak menentu setiap jamnya, dengan kecepatan angin rata-rata selama siang hari sebesar 1,25 m/s dan 0,48 m/s selama malam hari (Gambar 5.8).

Hal ini terjadi karena dipengaruhi oleh tipe EL yang merupakan tipe lansekap dengan bentuk bangunan melebar dengan nilai  $H/W = 0,3$  dan berorientasi jalan menghadap Barat Laut – Tenggara. Penerimaan intensitas matahari yang cukup tinggi sangat memungkinkan dan perolehan bayangan yang kurang dari bangunan. Namun tambahan bayangan dari pohon juga belum mencukupi untuk dapat menurunkan temperatur udara, bahkan dapat meningkatkan kelembaban udara. Perbedaan temperatur yang signifikan hanya terlihat pada pagi sampai siang hari hingga mencapai 3,18K, tetapi tidak untuk malam hari (Gambar 5.8). Berbeda dengan kelembaban udara, perbedaan yang signifikan terlihat sepanjang hari. Hal ini kemungkinan dipengaruhi oleh perolehan bayangan yang didominasi oleh pohon dibanding bangunan.





Gambar 5.8 Kondisi Iklim Mikro di Tipe Lansekap EL

### 5.1.9 Perbandingan Pola Kondisi Iklim Mikro selama 24 Jam di Setiap Tipe Lansekap

Berdasarkan uraian di atas mengenai kondisi termal di setiap tipe lansekap yaitu pola pergerakan dari masing-masing elemen iklim berupa temperatur udara, kelembaban udara, kecepatan angin dan intensitas radiasi matahari, dapat dijelaskan bahwa keempat elemen iklim tersebut saling mempengaruhi. Berdasarkan hasil pengukuran mendeskripsikan bahwa pola pergerakan temperatur udara berbanding lurus dengan intensitas radiasi matahari, namun berbanding terbalik dengan kelembaban udara. Sementara pola kecepatan

angin tidak menentu setiap jamnya. Angin akan mengalir baik karena arus konveksi yang natural, yang disebabkan oleh adanya perbedaan temperatur dan tekanan (Lechner, 2001). Dan peningkatan kelembaban udara yang disebabkan oleh tingkat evaporasi akan terus meningkat ketika adanya pergerakan udara (McMulan, 2007).

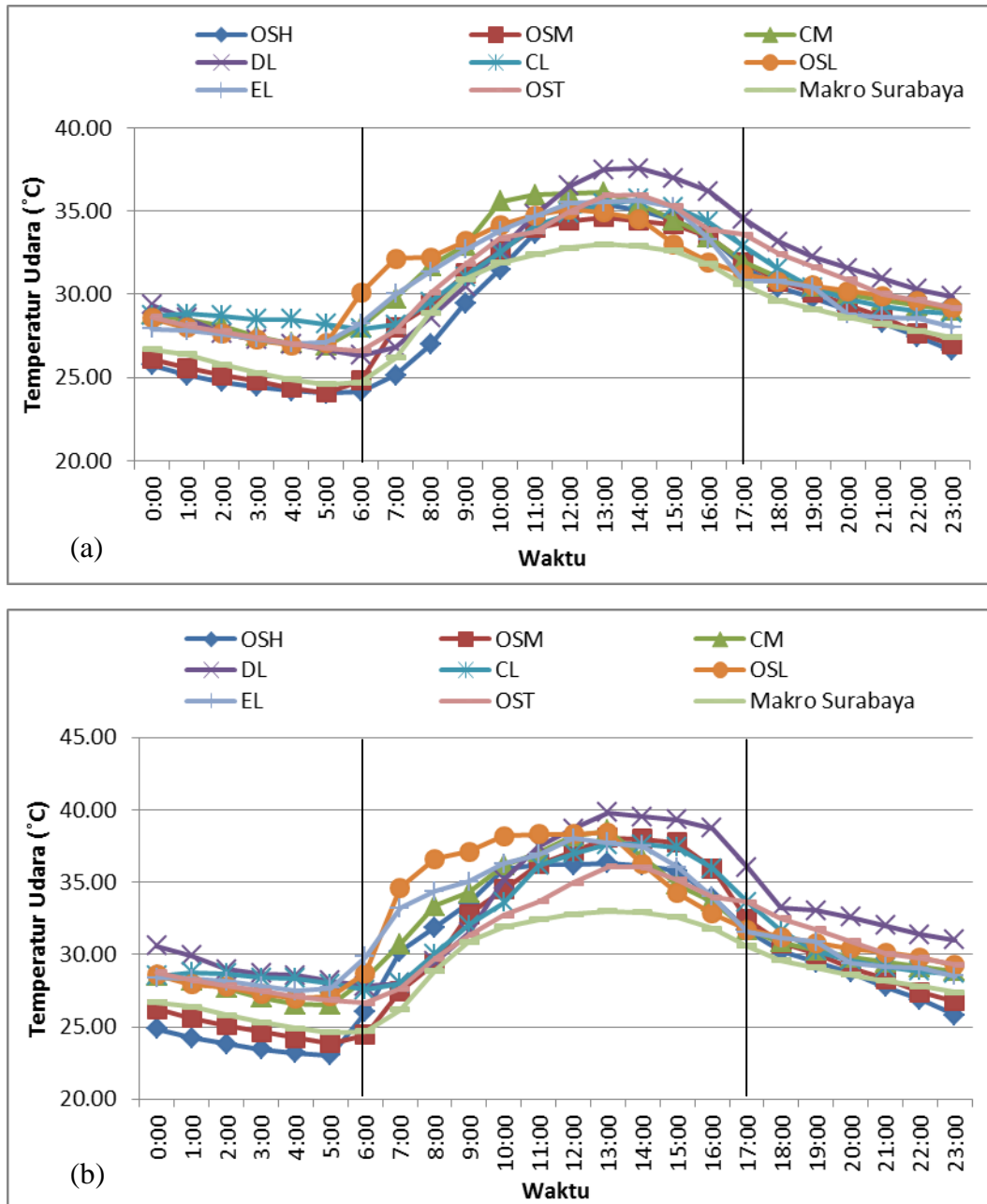
### **1. Kondisi Temperatur Udara**

Berdasarkan uraian di atas dapat dijelaskan mengenai pola pergerakan temperatur udara selama 24 jam di setiap tipe lansekap. Secara umum dari kedelapan tipe lansekap tersebut memiliki pola pergerakan temperatur udara yang hampir sama dalam proses peningkatan dan penurunan temperatur udara, baik pada daerah yang terbayangi dan tidak terbayangi. Demikian juga dengan pola pergerakan temperatur udara selama 24 jam dari data iklim makro Surabaya (Gambar 5.9).

Dari data iklim makro Surabaya tersebut menunjukkan nilai temperatur udara yang paling rendah dibandingkan dari hasil pengukuran lapangan di setiap tipe lansekap. Data iklim makro Surabaya berdasarkan pengukuran di atas 10 meter dari permukaan tanah, sedangkan iklim mikro hasil pengukuran lapangan dilakukan 1,5 meter dari permukaan tanah. Hal ini mengindikasikan bahwa karakteristik fisik dari suatu tipe lansekap sangat mempengaruhi temperatur udara setempat. Untuk mendeskripsikan kondisi temperatur udara di setiap lansekap dapat ditinjau dari aspek daerah terbayangi dan tidak terbayangi, serta peningkatan dan penurunan temperatur udara.

Ditinjau dari aspek daerah terbayangi dan tidak terbayangi, di tipe lansekap OSH, OSM, CM, dan CL memiliki pola yang sama yaitu pada daerah yang terbayangi menunjukkan kondisi temperatur udara yang lebih rendah di pagi sampai sore hari (07:00 – 18:00) dari pada daerah yang tidak terbayangi, demikian sebaliknya temperatur udara pada daerah yang tidak terbayangi menunjukkan kondisi yang lebih rendah di malam hari (19:00 – 06:00) dari daerah yang terbayangi. Berbeda di tipe lansekap OSL, DL, dan EL. Temperatur udara pada daerah yang terbayangi menunjukkan kondisi yang lebih rendah dari pada daerah yang tidak terbayangi sepanjang hari (24 jam). Namun sebaliknya, di tipe

lansekap OST pada daerah yang terbayangi menunjukkan kondisi temperatur udara yang lebih tinggi beberapa jam di pagi sampai siang hari (07:00 – 12:00) dari pada daerah yang tidak terbayangi. Tetapi selanjutnya, mulai pukul 13:00 – 06:00 pada daerah yang terbayangi baru menunjukkan kondisi temperatur udara lebih rendah dari pada daerah yang tidak terbayangi (Gambar 5.9).

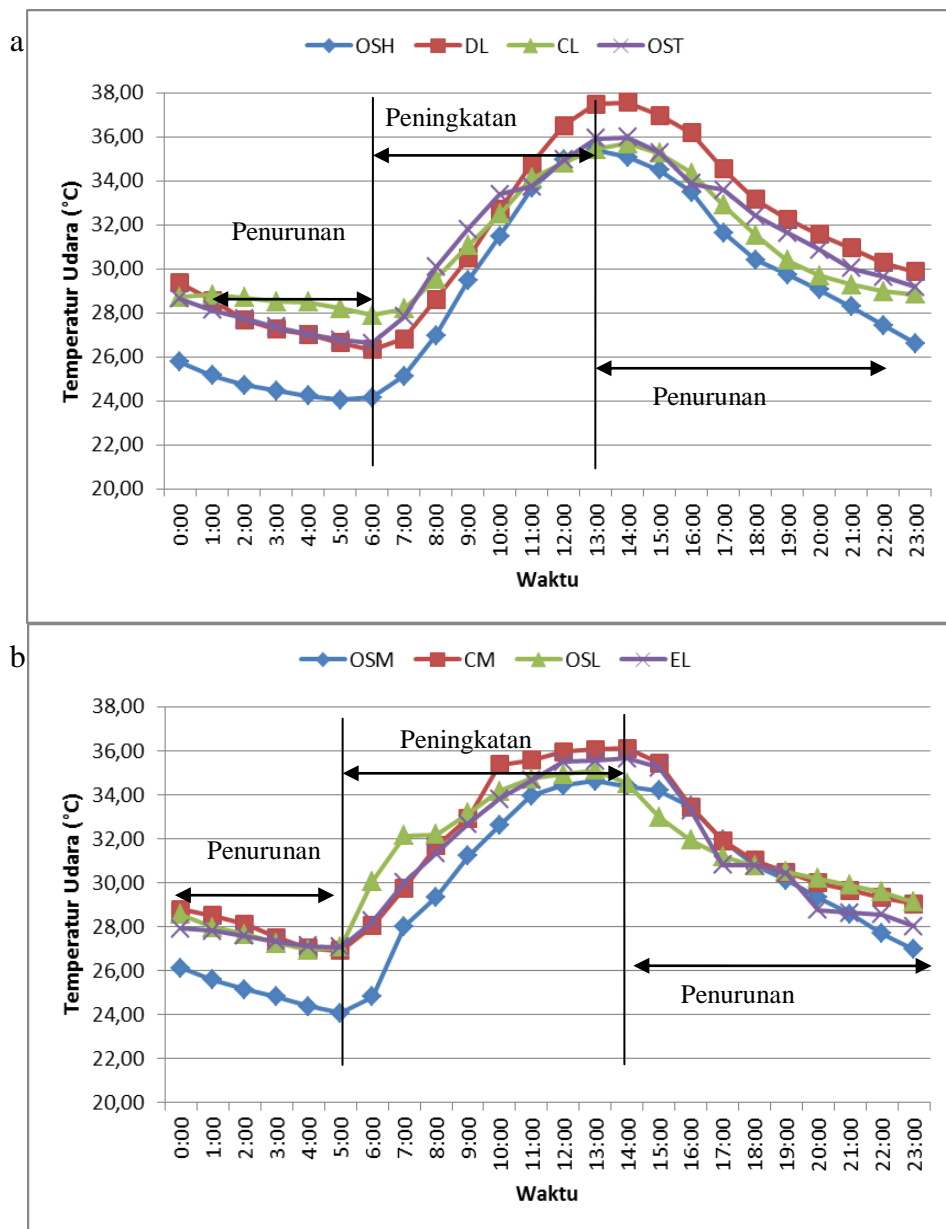


Gambar 5.9 Perbandingan Kondisi Temperatur Udara (a) Daerah Terbayangi (b) Daerah Tidak Terbayangi di setiap Tipe Lansekap dengan Data Makro Surabaya

Fenomena ini dapat menunjukkan bahwa daerah yang terbayangi tidak selalu menunjukkan temperatur yang lebih rendah dibandingkan daerah tidak terbayangi, dengan kata lain pembayangan yang dihasilkan dapat menurunkan dan menaikkan temperatur udara. Berbeda dengan hasil penelitian Shashua-Bar dkk (2003) yang mendeskripsikan efek pendinginan dari bayangan pohon yang memiliki peran dalam penetrasi radiasi matahari ditinjau dari aspek geometri dan orientasi pada koridor jalan (*canyon street*) di iklim panas dan gersang (*hot and arid climate*). Namun, perlu diperhatikan lagi apakah bayangan yang dihasilkan tersebut sudah memberikan efek bayangan yang sudah tepat jika ditinjau dari komposisi dan konfigurasi sebuah lansekap. Dari hasil pengukuran lapangan di kedelapan tipe lansekap, perbedaan temperatur udara pada daerah terbayangi dan tidak terbayangi selama siang hari bisa mencapai 5,10 K dan selama malam hari hanya mencapai 1,54 K (Lampiran 5.1).

Jika ditinjau dari aspek peningkatan dan penurunan nilai temperatur udara selama 24 jam, terdapat dua kecenderungan pola pergerakan temperatur udara. Pertama, kecenderungan pada tipe OSH, DL, CL dan OST. Kedua, pada tipe OSM, CM, OSL dan EL. Kecenderungan pertama terlihat peningkatan temperatur udara secara drastis mulai terlihat mulai pukul 11:00 sampai siang hari. Sementara pada kecenderungan kedua, peningkatan temperatur udara secara drastis sudah terlihat mulai pukul 06:00 sampai siang (Gambar 5.10).

Berdasarkan dua tinjauan di atas, yaitu pada daerah yang terbayangi dan tidak terbayangi serta peningkatan dan penurunan nilai temperatur udara dapat disimpulkan awal bahwa karakteristik dari suatu tipe lansekap dan pembayangan yang dihasilkan sangat mempengaruhi kondisi temperatur udara setempat. Salah satu indikasi awal yang terlihat yaitu hubungan komponen penutup lahan dalam penerimaan radiasi matahari secara langsung dan tidak pada suatu permukaan penutup lahan (aspek daerah terbayangi, tidak terbayangi dan pola pembayangan), serta proses penyerapan dan pelepasan panas dari material komponen penutup lahan (aspek peningkatan dan penurunan nilai temperatur udara).

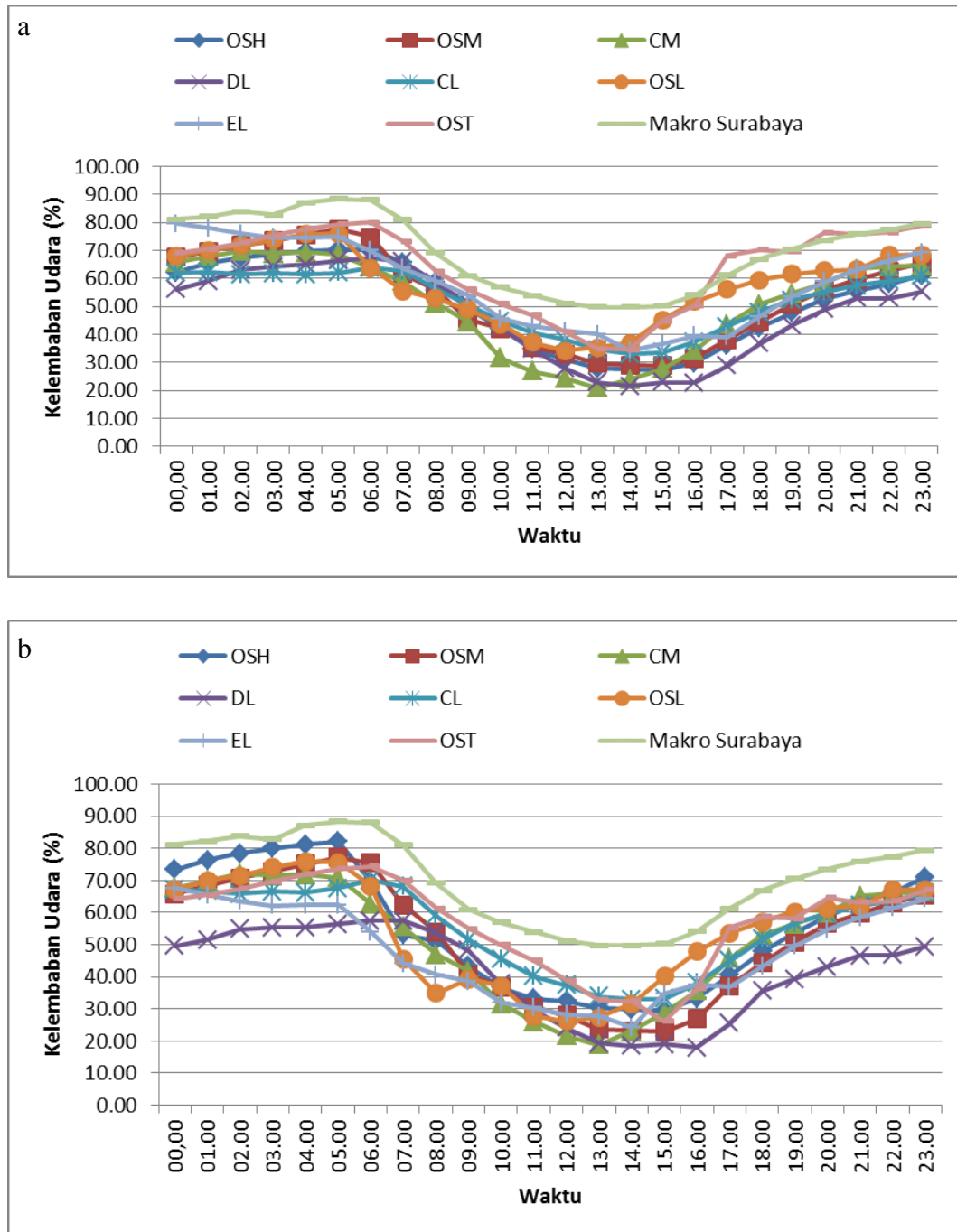


Gambar 5.10 Kecenderungan Pola Pergerakan Temperatur Udara : (a) Tipe OSH, DL, CL dan OST (b) Tipe OSM, CM, OSL, dan EL OST

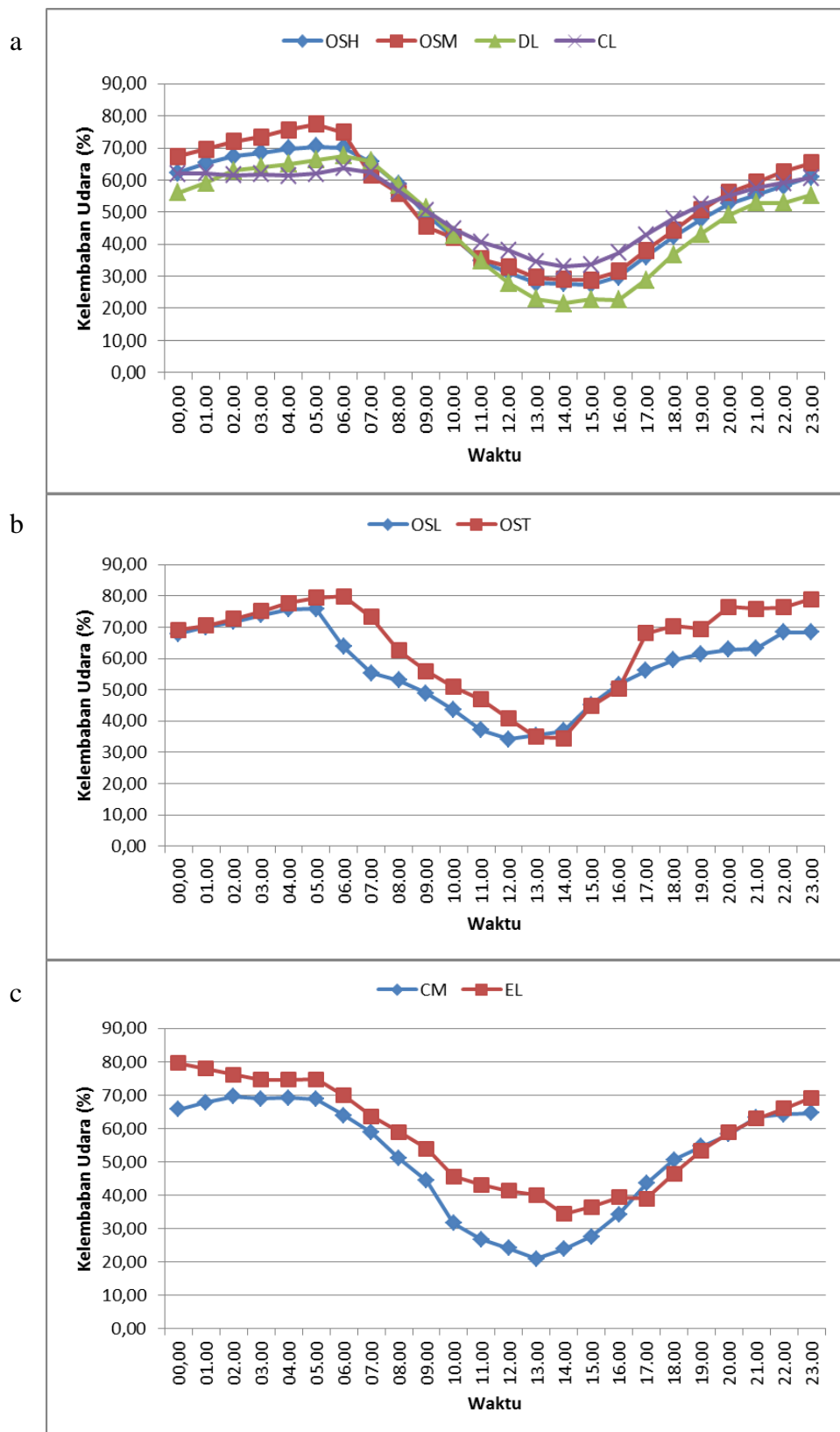
## 2. Kondisi Kelembaban Udara

Pola pergerakan kelembaban udara memiliki kecenderungan berbanding terbalik dengan pola pergerakan temperatur udara. Gambar 5.11 menunjukkan bahwa kelembaban udara makro Surabaya lebih tinggi dibandingkan dengan kelembaban udara di setiap tipe lansekap. Pola pergerakan kelembaban udara

hampir memiliki kecenderungan yang sama dengan pola pergerakan temperatur udara di kedelapan tipe lansekap.



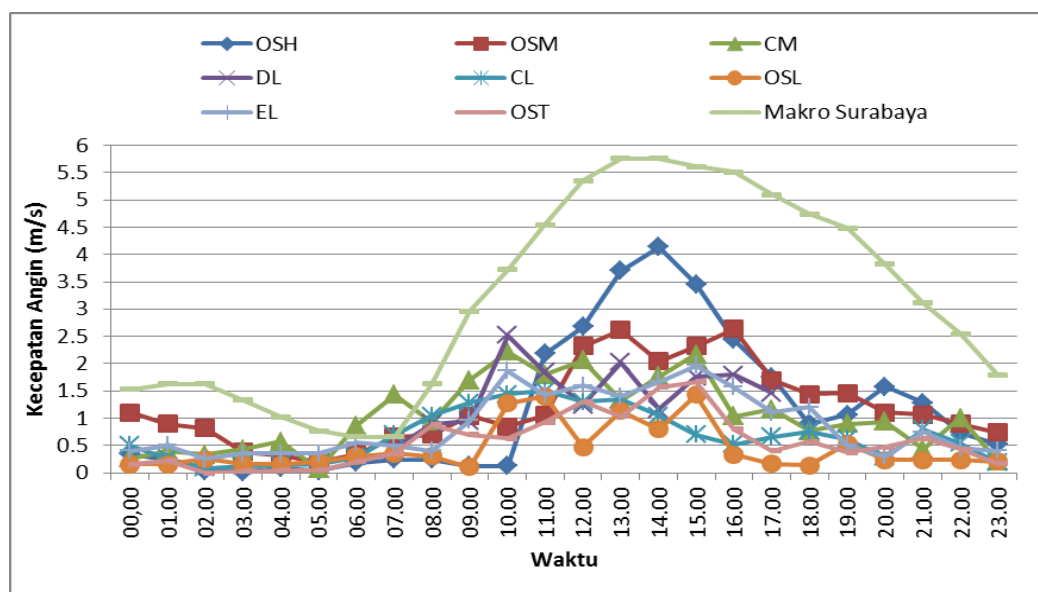
Gambar 5.11 Perbandingan Kondisi Kelembaban Udara (a) Daerah Terbayangi (b) Daerah Tidak Terbayangi di setiap Tipe Lansekap dengan Data Makro Surabaya



Gambar 5.12 Kecenderungan Pola Pergerakan Kelembaban Udara : (a) Tipe OSH, OSM, DL dan CL (b) Tipe OSL dan OST (c) Tipe CM dan EL

Tipe lansekap yang memiliki pola yang sama yaitu kecenderungan pada tipe OSH, DL dan CL serta kecenderungan pada tipe CM dan EL. Namun yang berbeda yaitu pada tipe OSM, OSL dan OST. Hal ini disebabkan oleh permukaan penutup lahan alami pada tipe tersebut lebih mendominasi sekitar 40-60% dan memiliki pola penataan vegetasi mengikuti pola jalan dan memusat. Peningkatan kelembaban udara salah satunya dapat dipengaruhi oleh keberadaan penutup alami berupa pohon, rumput, air dan tanah. Givoni (1998) menguraikan bahwa proses evapotranspirasi daun yang terekspos matahari dapat mengabsorpsi radiasi matahari. Secara signifikan evaporasi dapat mendinginkan udara serta meningkatkan kelembaban udara bergantung pada kondisi kelembaban dan temperatur udara lokal.

### 3. Kondisi Kecepatan Angin



Gambar 5.13 Perbandingan Kondisi Kecepatan Angin di setiap Tipe Lansekap dengan Data Makro Surabaya

Gambar 5.13 menunjukkan perbandingan kondisi kecepatan angin di setiap tipe lansekap (pengukuran pada 1,5 meter) dengan data makro Surabaya (di atas 10 meter). Data tersebut menjelaskan bahwa pola kecepatan angin di kedelapan tipe lansekap memiliki kecenderungan yang tidak menentu per jamnya, kecuali tipe OSH dan CL yang memiliki pola yang cenderung sama dengan pola

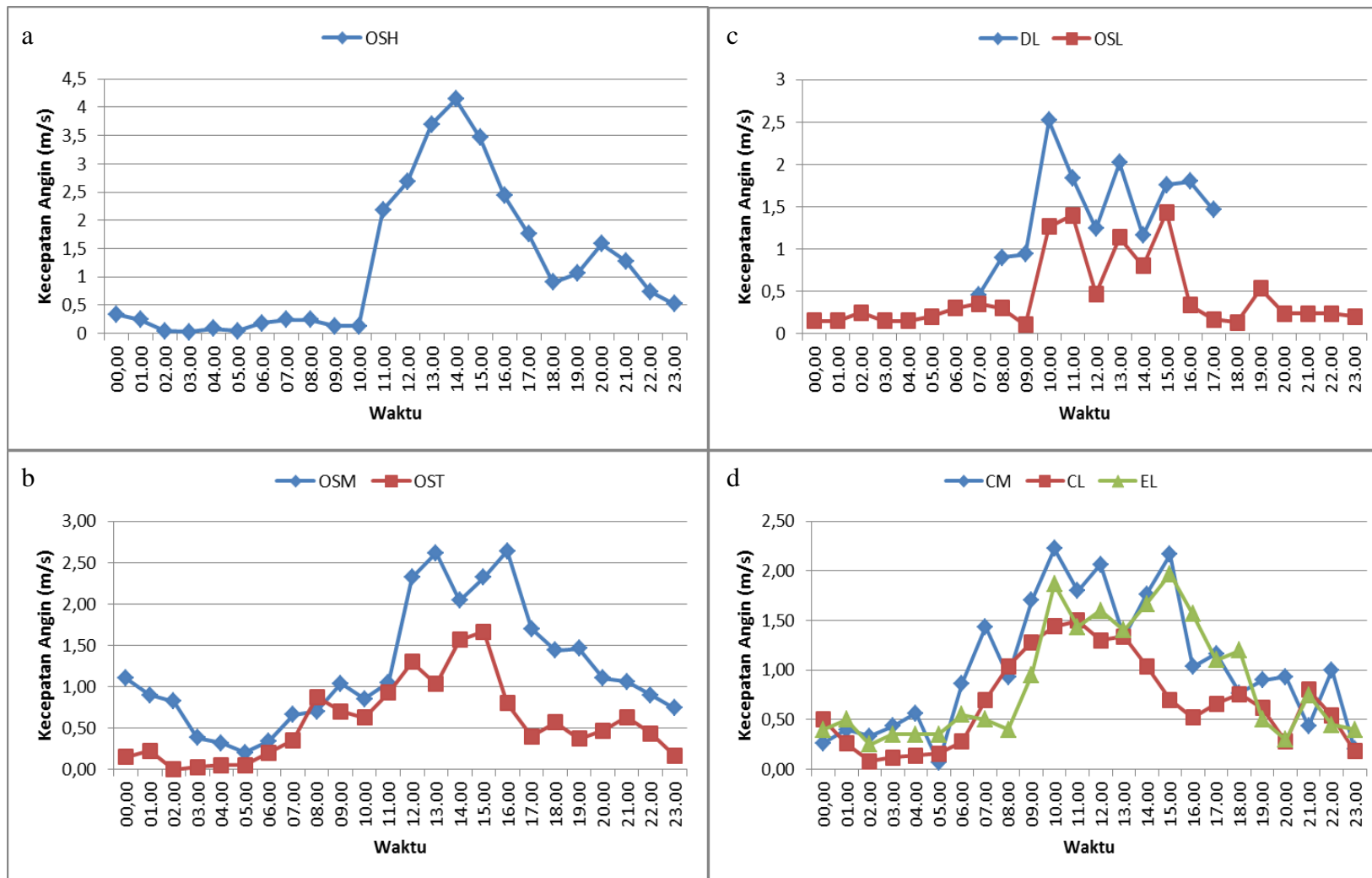


temperatur udara. Pada malam hari menunjukkan kecepatan angin cenderung kecil bahkan ada di beberapa tipe lansekap tidak ada kecepatan angin sama sekali. Sementara pada siang hari menunjukkan kecepatan angin tinggi. Jika dibandingkan dengan perolehan kecepatan angin dari data makro Surabaya, pola pergerakan makro Surabaya berbanding lurus dengan pola pergerakan temperatur udara.

Dari hasil pengukuran lapangan menunjukkan bahwa kecenderungan pola pergerakan temperatur udara dan kelembaban udara di setiap tipe lansekap juga memiliki ada beberapa kecenderungan pola yang sama pada kecepatan angin, seperti yang terlihat jelas pada Gambar 5.14. Tipe OSH menunjukkan kecenderungan yang berbeda dengan tipe lainnya. Tipe OSM dan OST hampir memiliki kecenderungan pola pergerakan kecepatan angin yang sama, begitu juga tipe lansekap lainnya DL dan OSL serta CM, CL dan EL.

Perolehan kecepatan angin tidak terlepas dari orientasi jalan dan nilai H/W. Tipe OSH menunjukkan kecenderungan yang berbeda sendiri, karena tipe ini memiliki orientasi jalan yang menghadap Barat-Timur dan memiliki nilai H/W yang cukup tinggi yaitu 3. Karakteristik tersebut sangat menguntungkan dalam perolehan kecepatan angin yang tinggi, searah dengan arah datang angin. Demikian juga untuk tipe lansekap lainnya yang cenderung memiliki orientasi menghadap Utara-Selatan dan memiliki nilai  $H/W < 2$ . Karakteristik tersebut kurang menguntungkan untuk memperoleh kecepatan angin yang tinggi. Hal demikian sejalan dengan Johansson (2006) yang mendeskripsikan untuk dapat menyediakan kecepatan angin yang nyaman diperlukan nilai H/W minimal 2 untuk orientasi Utara-Selatan tetapi perlu ada jarak antar bangunan. Sementara untuk orientasi jalan Barat-Timur membutuhkan setidaknya nilai  $H/W \geq 4$  untuk dapat menyediakan angin yang nyaman.

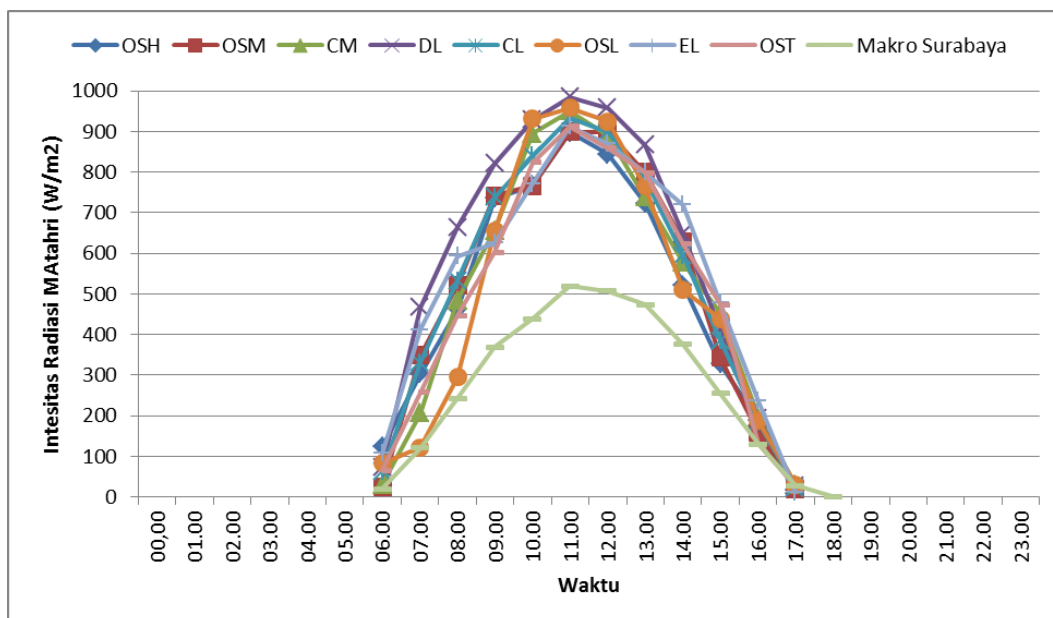
Dengan demikian dapat disimpulkan bahwa orientasi jalan merupakan faktor fundamental dalam memberikan perolehan kecepatan angin. Kecenderungan perolehan kecepatan angin yang tidak menentu setiap jamnya di setiap tipe lansekap sangat dipengaruhi oleh penataan perletakan bangunan dan pohon serta arah datang angin. Hal ini berkaitan dengan pergerakan angin yang dapat mereduksi temperatur dan kelembaban udara.



Gambar 5.14 Kecenderungan Pola Kecepatan Angin : (a) Tipe OSH (b) Tipe OSM dan OST (c) Tipe DL dan OSL (d) CM, CL dan EL

#### 4. Kondisi Intensitas Radiasi Matahari

Pola perilaku intensitas radiasi matahari cenderung hampir sama (berbanding lurus) dengan kondisi temperatur udara dan kecepatan angin. Peningkatan dan penurunan intensitas radiasi matahari ini juga berpengaruh pada peningkatan dan penurunan temperatur udara. Secara tidak langsung juga berpengaruh pada kelembaban udara dan kecepatan angin yang terjadi. Komponen penutup lahan yang ada di setiap tipe lansekap sangat berpengaruh dalam penerimaan radiasi matahari secara langsung dan tidak langsung. Serta berpengaruh pada penyerapan dan pelepasan panas pada elemen penutup lahan yang telah dibahas sebelumnya pada kondisi temperatur udara.



Gambar 5.15 Perbandingan Kondisi Intensitas Radiasi Matahari di setiap Tipe Lansekap dengan Data Makro Surabaya

Hal demikian mengindikasikan bahwa peningkatan intensitas radiasi matahari mempengaruhi peningkatan temperatur udara. Sebagai asumsi bahwa waktu puncak temperatur udara tertinggi sekitar 2-3 jam setelah waktu puncak intensitas radiasi matahari tertinggi. Namun tidak selalu pada saat terjadi peningkatan temperatur udara akan mengalami penurunan kelembaban udara dan sebaliknya. Hal ini tergantung dari kondisi kecepatan angin dan komponen penutup lahan permukaan di suatu tipe lansekap. Tipe DL, EL dan CL cenderung

memiliki intensitas radiasi matahari cukup tinggi, sedangkan tipe OSM, CM, OST, OSH dan OSL cenderung memiliki intensitas radiasi yang lebih rendah. Tinggi rendahnya intensitas matahari tersebut dipengaruhi oleh kondisi permukaan penutup lahan. Sebagaimana yang diungkapkan Taleghani (2014) yang menyatakan durasi intensitas radiasi matahari langsung dipengaruhi oleh urban form. Untuk bentuk bangunan singular dengan orientasi apapun akan terkena matahari langsung selama 12 jam, bentuk linier dengan orientasi Timur – Barat akan menerima radiasi selama 12 jam, sementara untuk bangunan linier dengan orientasi Utara – Selatan akan menerima radiasi selama 4 jam.

## **5. Kesimpulan Kondisi Iklim Mikro di Kedelapan Tipe Lansekap**

Dari perbandingan keempat elemen iklim tersebut dalam kondisi iklim mikro (kondisi termal) di masing-masing tipe lansekap dari hasil pengukuran lapangan dapat disimpulkan bahwa temperatur udara diidentifikasi sebagai parameter fundamental untuk melihat tren (kecenderungan) dalam perubahan iklim mikro dari suatu tipe lansekap ruang kota. Tabel 5.1 menunjukkan perbandingan kondisi termal di setiap tipe lansekap dengan memperlihatkan kondisi termal rata-rata pada siang dan malam.

Dari kedelapan tipe lansekap, tipe lansekap OSH yang merupakan tipe lansekap dengan bentuk bangunan bertingkat tinggi menunjukkan temperatur yang lebih rendah dibandingkan tipe lainnya baik pada daerah yang terbayangi dan tidak terbayangi selama siang dan malam hari. Hal ini sejalan dengan Rose (2011) yang menunjukkan bahwa peningkatan aspek ratio bangunan ( $H/W$ ) / geometri jalan dan persentase area terbangun dapat secara signifikan meningkatkan kenyamanan termal di siang hari. Sebaliknya, dapat memperburuk kenyamanan termal dan meningkatkan penggunaan energi untuk pendinginan sepanjang malam hari. Namun, dalam penelitian ini berbeda pada kondisi malam hari. Selama malam hari, tipe OSH ini masih menunjukkan temperatur udara yang lebih rendah. Hal ini kemungkinan dapat dipengaruhi oleh komposisi dan konfigurasi lansekap.

Sementara temperatur yang lebih tinggi terdapat di tipe OSL pada siang hari dan tipe DL pada malam hari. Tipe OSL merupakan tipe lansekap dengan

bangunan rendah yang tidak padat, penutup lahan buatan (60%) lebih mendominasi dibandingkan penutup lahan alami (40%) serta memiliki nilai H/W yang rendah (0,6). Hal ini mengakibatkan penerimaan radiasi matahari langsung relatif besar dan perolehan pembayangan relatif kecil serta penyimpanan panas pada permukaan penutup lahan relatif besar. Hal ini sejalan dengan penelitian Rose (2011) yang menyatakan bahwa nilai H/W yang rendah mengakibatkan peningkatan temperatur udara.

Selanjutnya di tipe DL merupakan tipe lansekap yang memiliki bentuk bangunan rendah yang berpola meyebar dengan nilai H/W 0,5 dan penutup lahan alami relatif dominan (53%) berupa rumput (24%), pohon (21%) dan tanah (8%), sementara penutup lahan buatan relatif lebih kecil (47%). Karakteristik ini dapat mengakibatkan penerimaan radiasi oleh permukaan penutup lahan relatif besar. Hal ini disebabkan selain karena nilai H/W yang kecil (penerimaan panas relatif besar) dan dengan pola menyebar mengakibatkan durasi penerimaan panas relatif panjang selama siang hari (Taleghani, 2015), sehingga berpengaruh pada kondisi temperatur udara pada malam hari yang relatif tinggi.

Sementara tipe OST yang merupakan kawasan penghijauan, seharusnya memiliki temperatur yang lebih rendah. Suatu kawasan yang lebih luas seperti taman dapat memiliki efek pendinginan yang lebih signifikan (Yu dan Hien, 2006). Penataan pohon yang kurang tepat (lebih banyak berkelompok) pada lansekap ini yang menyebabkan ada waktu-waktu tertentu dapat meningkatkan temperatur udara. Abreu-Harbach dkk (2015) menjelaskan bahwa perletakan pohon secara individu lebih efektif menurunkan temperatur udara dibandingkan dengan perletakan pohon secara kelompok. Hal ini disebabkan karena terjadinya pemblokiran pergerakan aliran angin, sehingga kecepatan angin yang ada kecil. Ali-Toudert dan Mayer (2007) menjelaskan adanya efek negatif dari vegetasi di iklim hangat, yaitu pohon dapat memblokir angin dengan mengurangi kecepatan angin sebesar 30-40%. Selain itu, juga dipengaruhi oleh faktor eksternal berupa padatnya arus lalu lintas di kawasan lansekap OST. Namun, bisa lebih jelas dianalisa apa yang dapat menyebabkan tipe lansekap OST ini memiliki temperatur yang tinggi juga dengan cara simulasi yang akan dijelaskan pada bab 6 berikutnya.

Tabel 5.1 Perbandingan Kondisi Termal di Setiap Tipe Lansekap

Kondisi Termal		OSH		OSM		CM		OSL		CL		DL		EL		OST	
		B	TB	B	TB	B	TB	B	TB	B	TB	B	TB	B	TB	B	TB
T (°C)	Min	24,06	23,04	24,09	23,86	26,91	26,52	26,94	26,97	27,90	27,05	26,32	27,81	27,07	27,48	26,61	26,66
	Maks	35,42	36,31	34,62	38,06	36,11	38,57	35,10	38,44	35,70	37,63	37,55	39,80	35,65	38,02	35,97	36,09
	Rata-rata	28,99	29,81	29,44	30,26	31,19	31,52	30,95	32,19	30,91	31,47	31,40	32,96	30,70	31,95	30,94	30,92
	Siang	31,33	33,57	31,92	33,67	33,44	34,47	33,10	35,45	32,64	33,88	33,24	35,14	33,07	35,03	32,75	32,63
	Malam	26,66	25,96	26,97	26,84	28,87	28,57	28,79	28,93	29,18	29,07	29,55	30,68	28,34	28,83	29,12	29,21
RH (%)	Min	27,33	29,27	28,80	22,93	21,00	18,72	34,11	26,22	33,05	32,93	21,56	18,01	34,39	24,17	34,54	26,17
	Maks	70,35	82,05	77,50	77,15	69,67	72,17	75,94	75,94	63,69	70,01	67,48	57,53	79,67	67,67	79,89	74,41
	Rata-rata	50,90	54,79	53,31	51,30	50,71	51,20	57,52	53,70	51,73	54,79	47,11	41,33	57,54	47,66	63,97	56,89
	Siang	41,74	40,21	42,12	38,44	37,60	36,52	46,76	39,96	44,84	46,21	38,94	34,02	50,02	36,46	49,58	47,41
	Malam	60,07	69,37	64,49	64,15	63,82	65,88	68,27	67,44	58,62	63,36	55,29	48,64	75,55	63,21	66,79	62,03
V (m/s)	Min	0,02		0,20		0,07		0,10		0,08		0,45		0,25		0,00	
	Maks	4,14		2,64		2,23		1,43		1,50		2,52		1,97		1,67	
	Rata-rata	1,17		1,20		1,03		0,44		0,68		1,46		0,87		0,57	
	Siang	1,77		1,52		1,54		0,67		0,98		1,56		1,25		0,87	
	Malam	0,57		0,87		0,53		0,22		0,37		0,23		0,48		0,26	
In (W/m <sup>2</sup> )	Min	15,30		18,70		30,00		30,67		23,75		26,52		39,00		26,00	
	Maks	898,00		900,00		930,00		958,67		927,94		985,82		972,00		913,20	
	Rata-rata	492,53		487,79		509,24		491,71		522,52		633,92		544,96		480,57	

B : Terbayangi - TB : Tidak Terbayangi      Tertinggi      Terendah

## **5.2 Pengaruh Komposisi dan Konfigurasi Lansekap Ruang Kota terhadap Kondisi Lingkungan Termal**

Untuk melihat pengaruh komposisi dan konfigurasi lansekap ruang kota terhadap kondisi lingkungan termal, maka ditinjau dari parameter desain yang telah ditentukan, yaitu: komposisi lansekap berupa komponen penutup lahan dan konfigurasi lansekap berupa orientasi jalan/ kawasan, pola massa bangunan, perbandingan tinggi bangunan/lebar jalan (H/W), pola penataan dan kerapatan vegetasi, dan pembayangan serta panas antropogenik.

### **5.2.1 Pengaruh Komponen Penutup Lahan**

Berdasarkan uraian sebelumnya tentang kecenderungan-kecenderungan pola pergerakan komponen elemen iklim berupa temperatur udara, kelembaban udara, kecepatan angin dan radiasi matahari yang terjadi, mengindikasikan adanya pengaruh dari karakteristik komponen penutup lahan. Hal ini terbukti dengan adanya kecenderungan kemiripan komposisi dan konfigurasi elemen penutup lahan di setiap tipe lansekap (Gambar 5.16). Kecenderungan kemiripan jumlah persentase komponen penutup lahan buatan (aspal dan paving), penutup lahan alami (rumput dan tanah), pohon dan bangunan tersebut terlihat di tipe lansekap sebagai berikut:

a. Tipe lansekap OSH, DL, CL dan OST

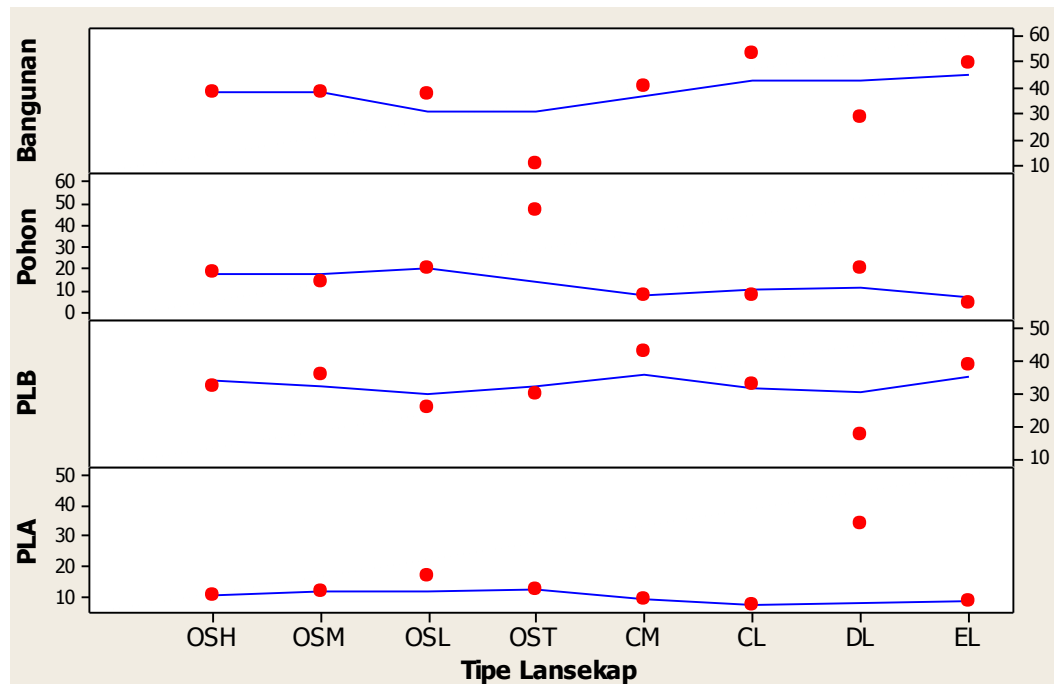
Pada tipe ini menunjukkan kecenderungan jumlah persentase penutupan lahan buatan sekitar  $\pm 40-70\%$  dan penutup lahan alami  $\pm 30-60\%$

b. Tipe lansekap OSM, CM, OSL dan EL

Pada tipe ini menunjukkan kecenderungan jumlah persentase penutupan lahan buatan sekitar  $\pm 60-90\%$  dan penutup lahan alami  $\pm 10-40\%$

Ditinjau dari aspek pengaruh komponen penutup lahan terhadap kondisi termal tidak terlepas dari proses penyerapan dan pelepasan panas serta sifat termal propertis dari masing-masing material penutup lahan. Setiap material memiliki karakteristik yang berbeda dalam penyerapan dan pelepasan panas tersebut. Menurut Lippsmeier (1994) material aspal dapat menyerap panas 85-95%, beton 60-70%, dan rumput 80%. Arnfield (2003) dalam Johansson, 2006 dan Lun dkk (2009) mendeskripsikan bahwa sifat termal dan radiasi dari komponen penutup

lahan sangat mempengaruhi iklim perkotaan. Namun, proses penyerapan dan pelepasan panas ini juga tidak terlepas dari pengaruh geometri (H/W) yang berpengaruh pada seberapa luas permukaan penutup lahan dalam menerima intensitas radiasi matahari secara langsung dan tidak.



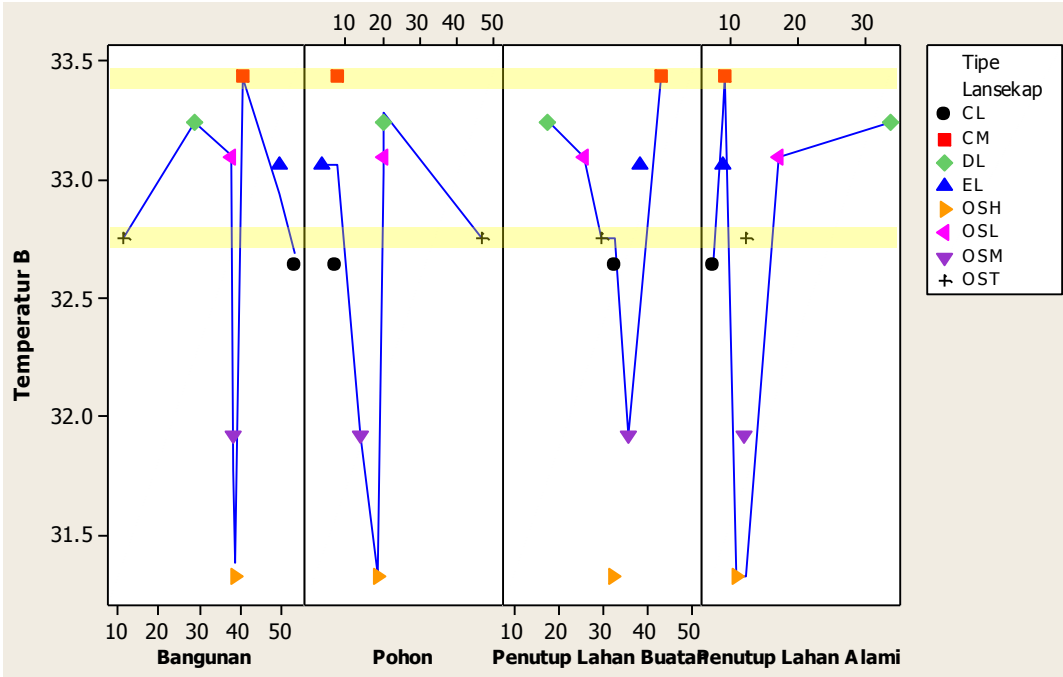
Gambar 5.16 Perbandingan Karakteristik Persentase Komponen Penutup Lahan di setiap Tipe Lansekap dengan kecenderungan Jumlah persentase penutup lahan

Dari hasil pengukuran lapangan menunjukkan bahwa pada tipe-tipe lansekap OSH, CL, DL dan OST yang memiliki kecenderungan penutup lahan buatan berkisar  $\pm 40-70\%$ . Selama siang hari pada daerah yang terbayangi cenderung memiliki temperatur udara rata-rata  $\pm 31-33\text{ }^{\circ}\text{C}$  dan  $\pm 32-35\text{ }^{\circ}\text{C}$  pada daerah yang tidak terbayangi (Gambar 5.17). Pada tipe-tipe lansekap OSM, CM, OSL dan EL yang memiliki kecenderungan penutup lahan buatan berkisar  $\pm 60-90\%$ , cenderung memiliki temperatur udara yang lebih tinggi berkisar  $\pm 31-33\text{ }^{\circ}\text{C}$  pada daerah yang terbayangi dan  $\pm 33-35,5\text{ }^{\circ}\text{C}$  selama siang hari.

Dari dua kecenderungan tersebut, yang terlihat jelas berbeda adalah pada daerah yang tidak terbayangi. Persentase permukaan penutup lahan yang besar akan menerima panas lebih besar sehingga dapat menyebabkan temperatur udara



menjadi tinggi. Namun berbanding terbalik pada kondisi malam hari, tipe-tipe yang cenderung memiliki persentase penutup lahan buatan lebih besar  $\pm 60-90\%$  (OSM, CM, OSL dan EL), selama malam hari menunjukkan temperatur udara yang lebih rendah dibandingkan tipe-tipe OSH, CL, DL dan OST yang memiliki kecenderungan persentase penutup lahan buatan lebih besar  $\pm 40-70\%$ .

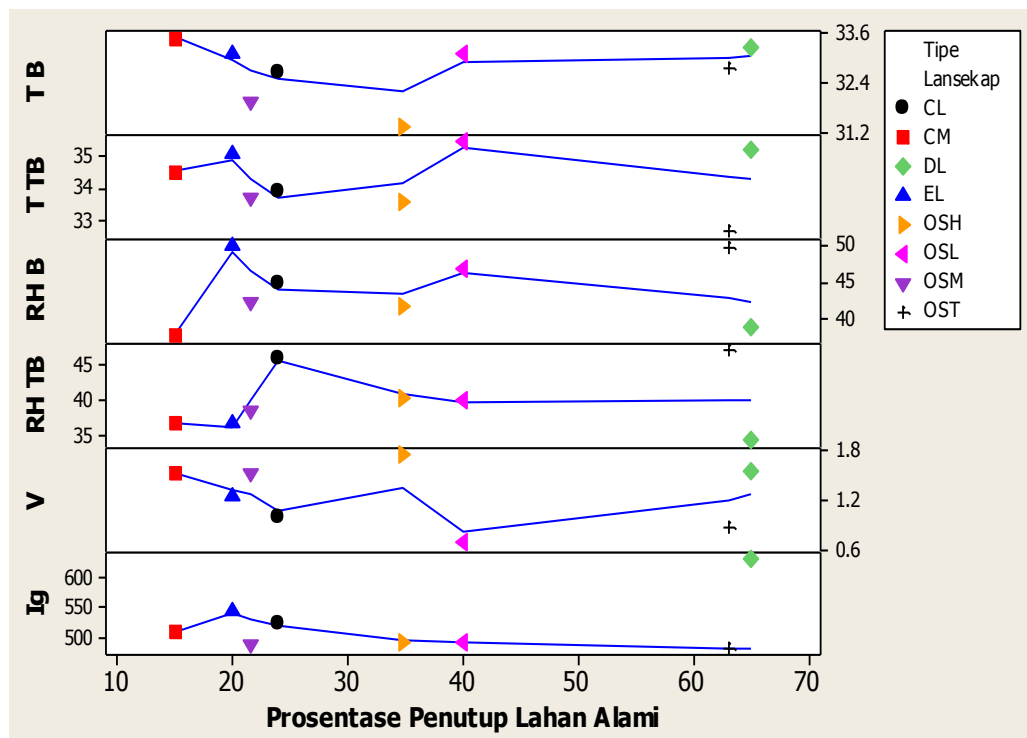


Gambar 5.17 Hubungan Persentase Komponen Penutup Lahan terhadap Temperatur pada Daerah Terbayangi

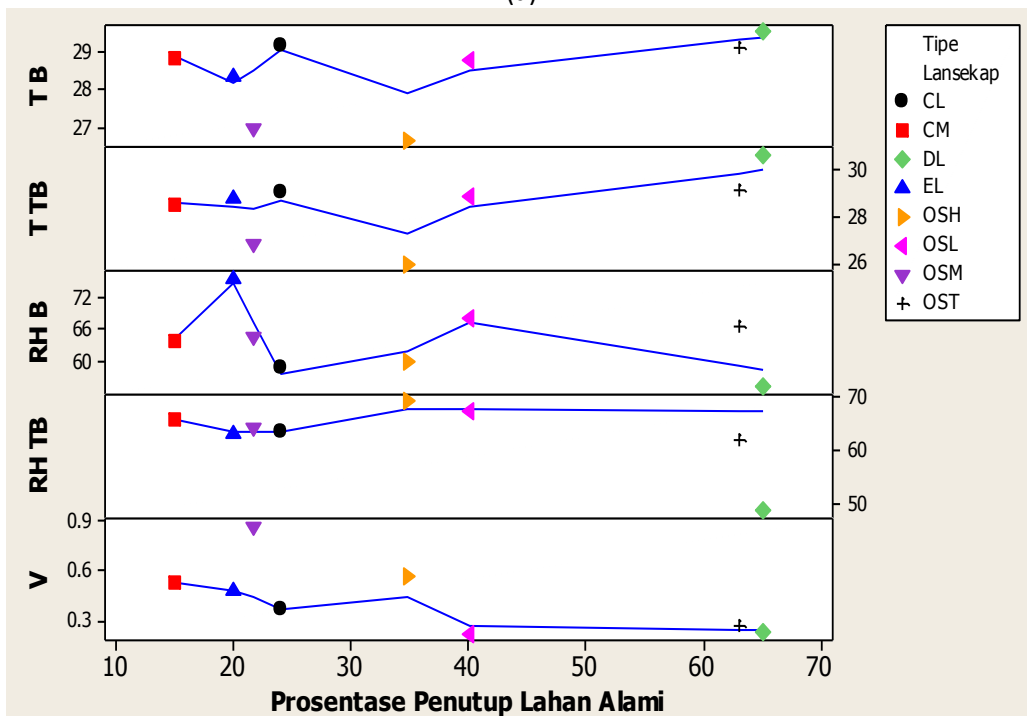
Berdasarkan analisa di atas dapat disimpulkan bahwa komponen penutup lahan (persentase elemen lansekap) sangat mempengaruhi kondisi iklim mikro di setiap tipe lansekap (Tabel 5.2).

Tabel 5.2 Hubungan Persentase Komponen Penutup Lahan dan Kondisi Iklim Mikro

Persentase Elemen Lansekap	Kondisi Iklim Mikro			
	Ta (°C)	RH (%)	V (m/s)	Ig (W/m2)
Lahan Terbangun 40-70%	Peningkatan T = 3-5K	Peningkatan RH = 10-23%	Pergerakannya tidak menentu setiap jamnya – terkadang	Berbanding lurus dengan Temperatur udara
Lahan Alami 30-60%				
Lahan Terbangun 60-90%	Peningkatan T = 2-3K	Peningkatan RH = 8-15%	Berbanding lurus dengan Temperatur udara	
Lahan Alami 10-40%				



(a)



(b)

Gambar 5.18 Pengaruh Persentase Penutup Lahan Alami terhadap Temperatur dan Kelembaban Udara rata-rata (a) Siang Hari (b) Malam Hari

Secara teori, semakin banyak lahan yang terbangun pada suatu lingkungan, semakin banyak juga panas yang akan terserap dan tersimpan pada

lahan yang bermaterial berat sehingga dapat meningkatkan temperatur udara. Jumlah radiasi yang diserap suatu objek tergantung warna, warna yang lebih gelap lebih banyak menyerap radiasi matahari dibandingkan warna cerah (Brown, 2010). Dalam hal ini perlu pertimbangan untuk mengontrol jumlah radiasi matahari yang masuk yang dapat diterima langsung oleh komponen penutup lahan khususnya untuk daerah tropis. Namun, sebaliknya semakin banyak penggunaan penutup lahan alami, semakin kecil panas yang terserap pada material ringan sehingga dapat menurunkan temperatur. Berbeda dengan hasil pengukuran lapangan, tipe DL dan OST yang merupakan tipe lansekap yang penutup lahan alami relatif besar dibandingkan penutup lahan buatan menunjukkan temperatur udara rata-rata yang lebih tinggi dibandingkan tipe lansekap lainnya yang memiliki penutup lahan buatan relatif lebih besar baik selama siang dan malam hari (Gambar 5.18).

Gambar 5.18 menunjukkan bahwa semakin besar persentase penutup lahan alami menunjukkan temperatur udara yang lebih tinggi. Hal ini perlu ditinjau tidak hanya dari pengaruh komposisi lansekap saja yaitu berupa persentase dari masing-masing penutup lahan, tetapi perlu ditinjau dari konfigurasi lansekap yaitu berupa penataan dan perletakkannya dalam suatu tipe lansekap. Terutama untuk konfigurasi dari pohon, sehingga dapat memberikan efek pendinginan yang tepat.

### **5.2.2 Pengaruh Orientasi Jalan/Kawasan**

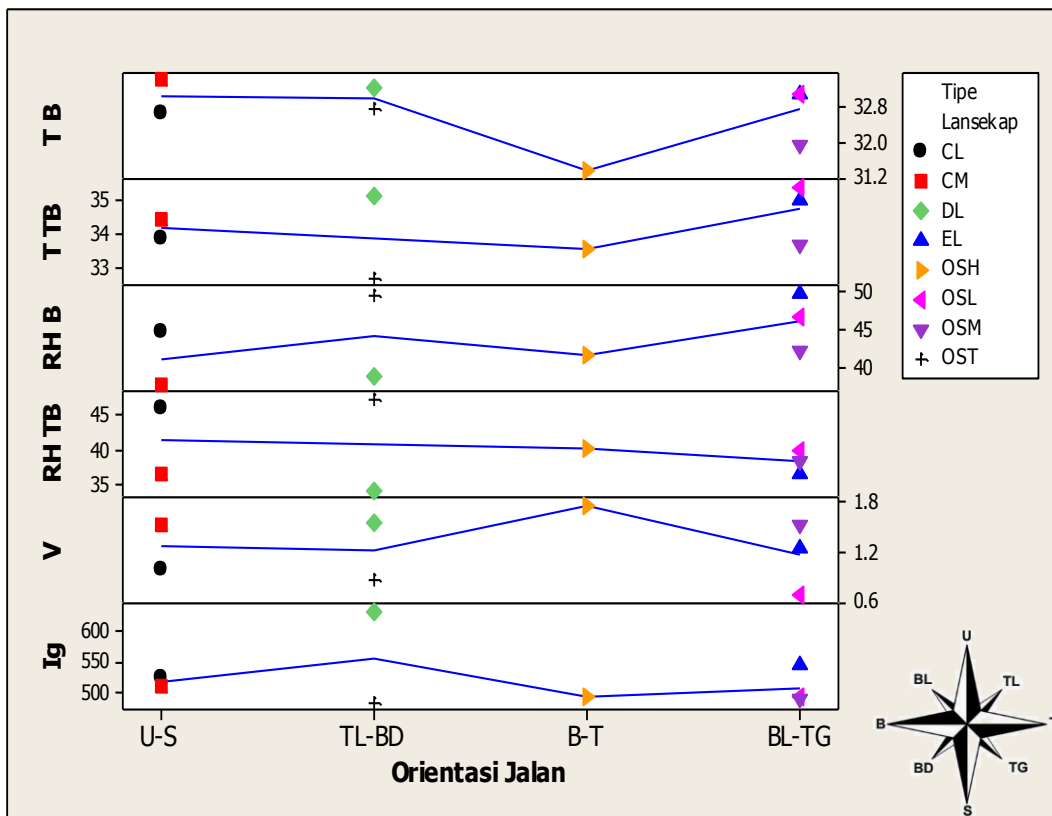
Givoni (1998) menyatakan bahwa orientasi kawasan jalan–jalan perkotaan sering menentukan orientasi bangunan di sepanjang jalan, di mana dapat mempengaruhi iklim perkotaan dengan beberapa cara, diantaranya: kondisi perolehan angin, perolehan sinar matahari dan bayangan, serta potensial ventilasi bangunan di sepanjang jalan. Dengan demikian untuk melihat orientasi kawasan pada setiap tipe lansekap ini tidak terlepas dari orientasi jalan dan bangunan. Untuk memudahkan peneliti dalam menentukan orientasi, ditentukan berdasarkan orientasi jalan di setiap tipe lansekap.

Ditinjau dari pengaruh orientasi jalan dapat dijelaskan bahwa tipe lansekap OSH yang berorientasi jalan menghadap Barat – Timur memiliki

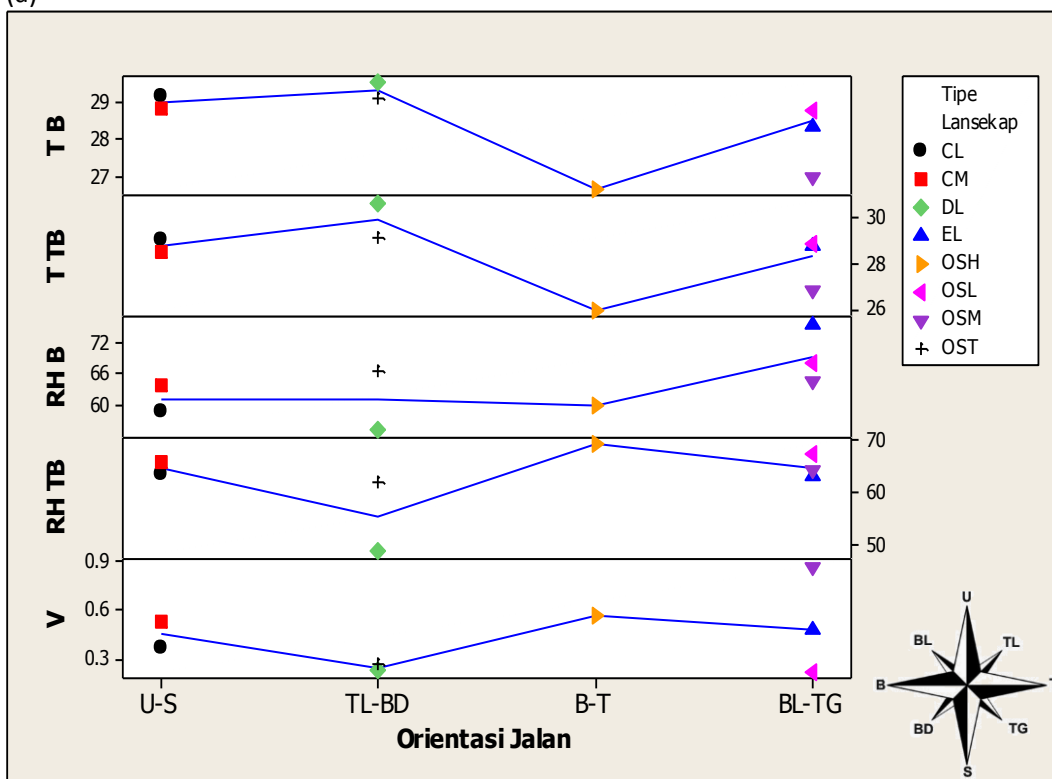
temperatur yang lebih rendah, karena berpotensi lebih baik dalam perolehan kecepatan angin 1,77 m/s (searah dengan arah datang angin), namun sedikit mendapatkan bayangan selama siang hari. Tipe OSH ini memiliki karakteristik bangunan tinggi, sehingga bayangan yang dihasilkan cukup besar, sehingga dapat menurunkan temperatur udara. Hal ini dapat dilihat temperatur udara berkisar 31,33 °C pada daerah yang terbayangi dan 33,57 °C pada daerah yang tidak terbayangi selama siang hari.

Namun, untuk tipe lansekap (DL dan OST) yang berorientasi jalan menghadap Timur Laut – Barat Daya memiliki temperatur cukup tinggi berkisar  $\pm 32-35$  °C, karena kecepatan angin yang ada kecil  $\pm 0,2-1,5$  m/s, sehingga sulit untuk menghapus temperatur dan kelembaban udara yang cenderung tinggi, walaupun dengan orientasi ini memiliki persentase bayangan cukup banyak. Begitu juga, tipe lansekap (OSM, CM, OSL, CL dan EL) yang berorientasi jalan cenderung menghadap Utara – Selatan memiliki temperatur berkisar  $\pm 31-35$  °C. Orientasi ini menguntungkan dalam menghasilkan persentase bayangan, namun tidak menguntungkan dalam perolehan kecepatan angin (Gambar 5.19).

Dari hubungan orientasi jalan dan kondisi iklim mikro yang tergambar dalam Gambar 5.19 dapat memperkuat lagi bahwa indikasi awal yang menyatakan bahwa orientasi jalan dapat memberikan pengaruh yang berbeda-beda terhadap kondisi termal. Khususnya memiliki pengaruh terhadap penurunan temperatur udara pada daerah terbayangi. Orientasi yang cenderung berorientasi menghadap Utara – Selatan dapat menurunkan temperatur udara pada daerah yang terbayangi, karena menguntungkan dalam perolehan persentase bayangan. Orientasi jalan juga mempengaruhi pada peningkatan temperatur pada daerah yang tidak terbayangi dan kelembaban udara pada daerah yang tidak terbayangi serta peningkatan intensitas radiasi matahari. Namun, dapat mempengaruhi dalam menurunkan kelembaban udara dan kecepatan angin pada daerah yang terbayangi.



(a)



(b)

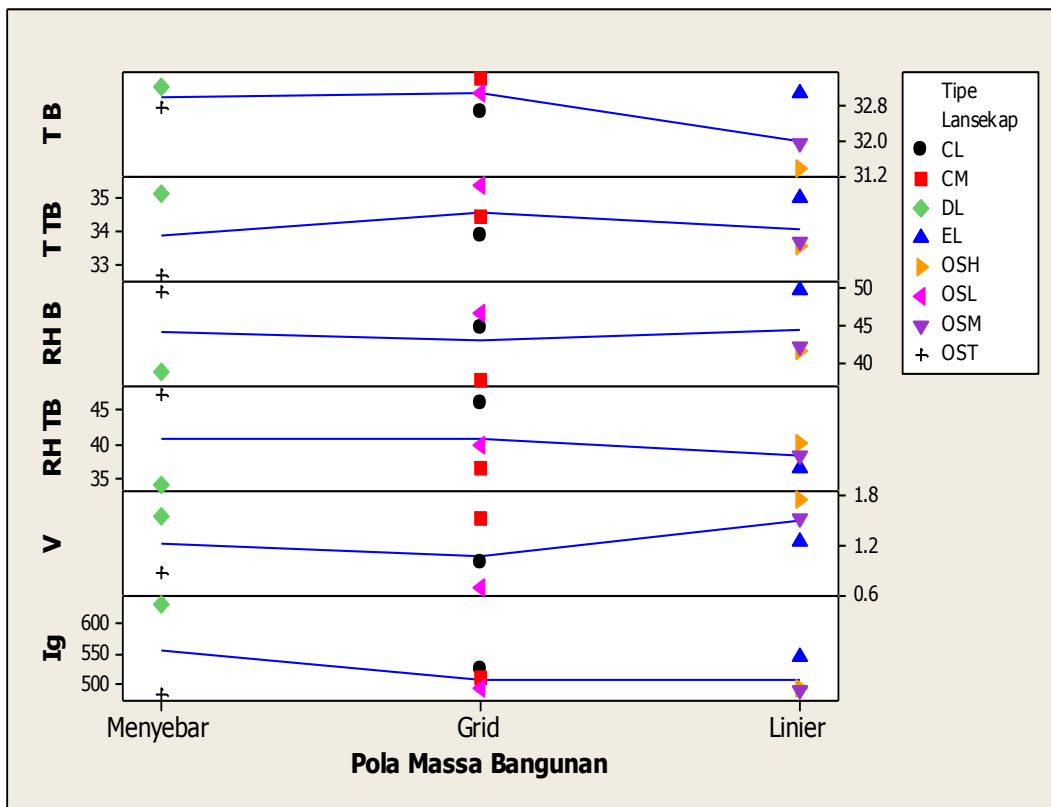
Gambar 5.19 Hubungan Orientasi Jalan dengan Kondisi Iklim Mikro selama (a) Siang Hari (b) Malam Hari

### 5.2.3 Pengaruh Pola Massa Bangunan

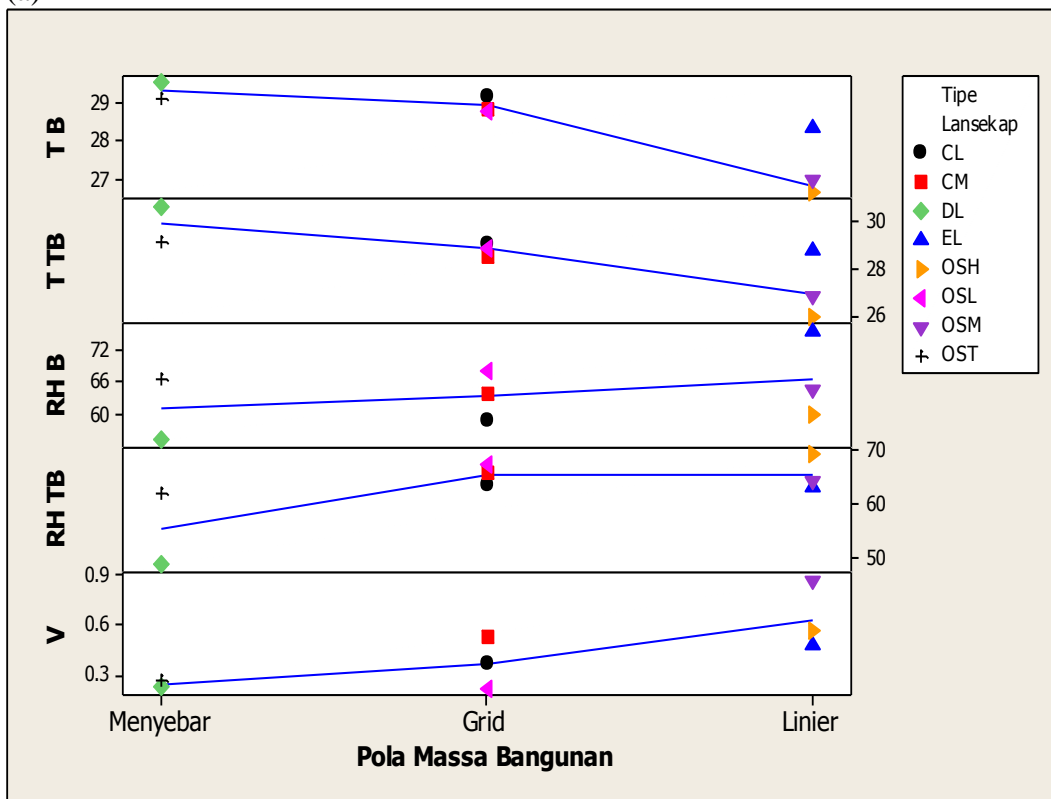
Pola tatanan massa merupakan salah satu bagian dari konfigurasi, terkait pengaturan struktur fisik bangunan yang disesuaikan dengan pengkondisian lingkungan dengan karakteristik tertentu. Namun pola penataan bangunan tidak terlepas dari orientasi bangunan itu sendiri dan orientasi jalan. Orientasi bangunan merupakan salah satu aspek pembentuk tatanan massa suatu kawasan. Dengan demikian pola penataan bangunan juga perlu diperhatikan agar dapat memperoleh keuntungan dari kondisi iklim setempat, yaitu pada perolehan bayangan, kondisi angin (aliran pergerakan dan kecepatan), penyerapan dan pelepasan panas.

Kecenderungan pola massa bangunan di setiap tipe lansekap ini juga sama dengan kecenderungan pola pengaruh komponen penutup lahan dan pengaruh orientasi kawasan. Tipe OSH, OSM, EL memiliki pola linier, OSL, CM, CL memiliki pola grid, dan tipe DL dan OST memiliki pola massa bangunan menyebar. Dengan demikian, hal ini juga sangat berpengaruh pada kondisi iklim mikro di setiap tipe lansekap. Dari hasil lapangan dapat dilihat bahwa pola penataan bangunan menyebar menunjukkan temperatur yang lebih tinggi dibandingkan pola bangunan linier dan grid. Hal ini juga dipengaruhi oleh penurunan kecepatan angin pada pola penataan bangunan menyebar dibandingkan pola bangunan linier dan grid, serta dapat meningkatkan intensitas radiasi matahari yang diserap oleh permukaan penutup lahan.

Gambar 5.20 menunjukkan bahwa pola massa bangunan memiliki pengaruh terhadap peningkatan temperatur udara baik yang terbayangi dan tidak terbayangi selama siang hari. Demikian juga pada peningkatan intensitas radiasi matahari dan peningkatan kelembaban udara pada daerah yang tidak terbayangi. Sebaliknya, pola massa bangunan memiliki pengaruh terhadap penurunan kelembaban udara pada daerah terbayangi dan kecepatan angin. Artinya, pola penataan bangunan menyebar dapat mempengaruhi peningkatan temperatur dan kelembaban udara dibandingkan pola bangunan linier dan grid.



(a)



(b)

Gambar 5.20 Hubungan Pola Massa Bangunan dan Kondisi Iklim Mikro Selama  
(a) Siang Hari (b) Malam Hari

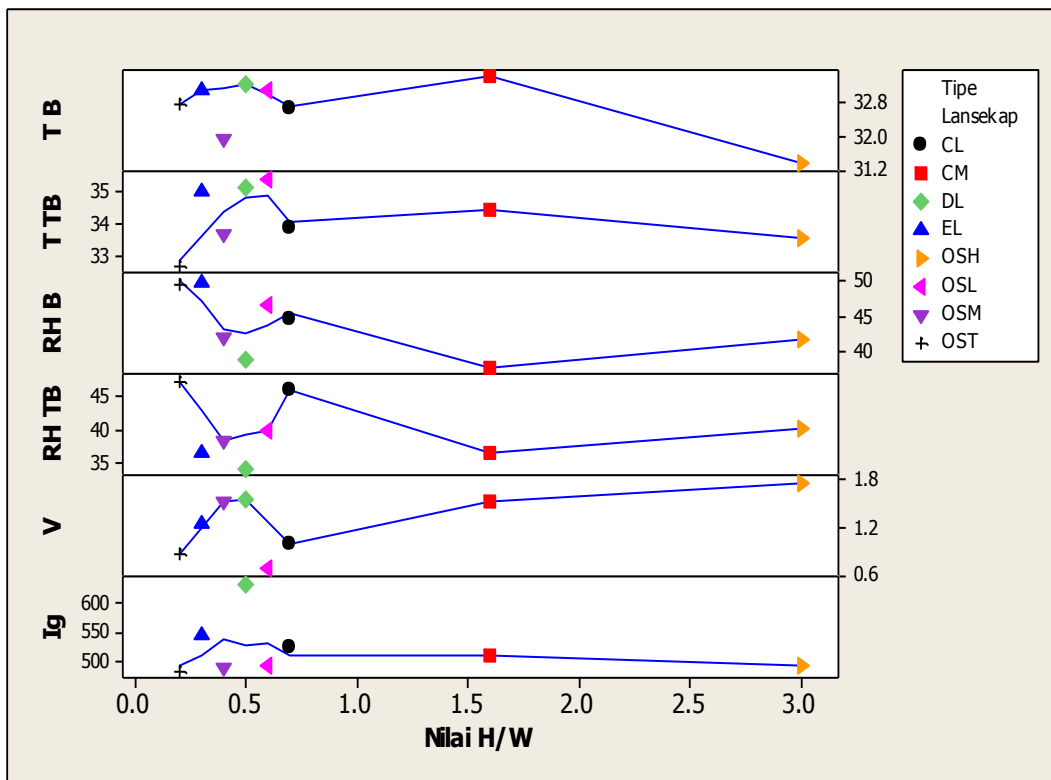
#### 5.2.4 Pengaruh Perbandingan Nilai H/W

Oke (1981) menyatakan bahwa efek pendinginan di skala iklim mikro perkotaan tergantung pada dua parameter struktur perkotaan, yaitu perbandingan tinggi bangunan dan lebar jalan (H/W) dan SVF (Sky View Factor). Perbandingan H/W akan berpengaruh pada perolehan bayangan, kecepatan angin, intensitas radiasi matahari dan temperatur udara. Gambar 5.21 menunjukkan hubungan H/W dan kondisi termal berupa temperatur udara, kelembaban udara, kecepatan angin, dan intensitas radiasi matahari serta persentase pembayangan di setiap tipe lansekap.

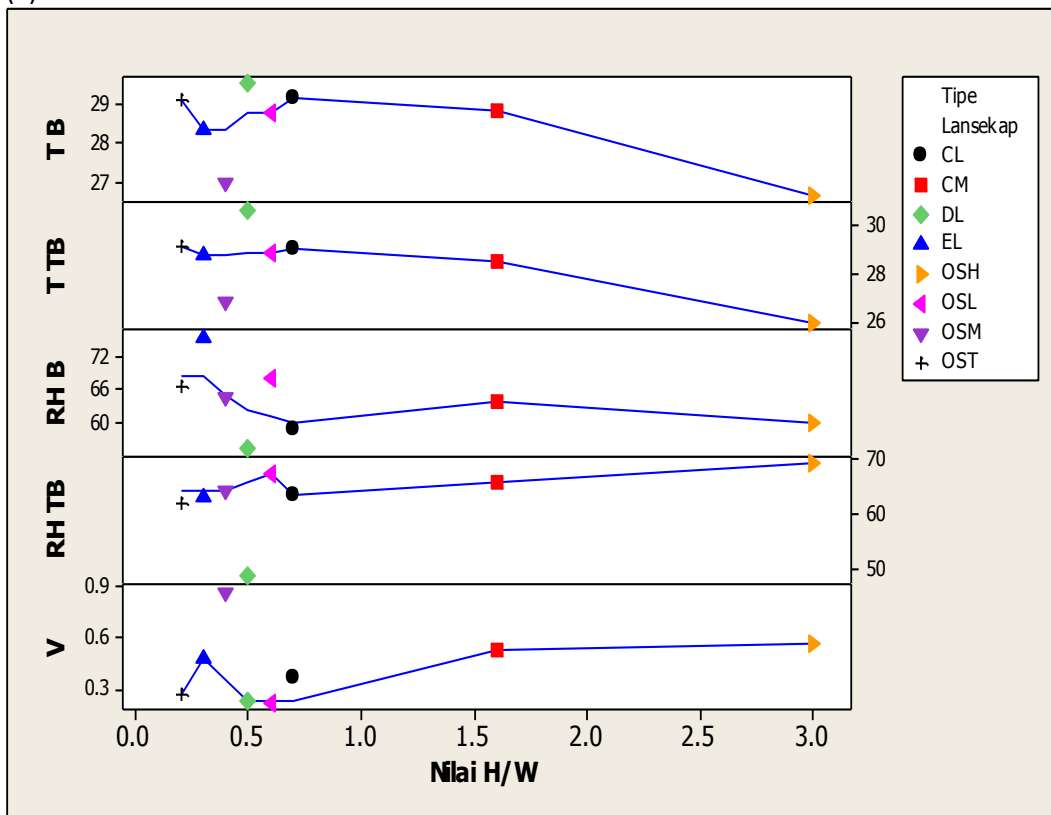
Semakin besar nilai H/W menunjukkan penurunan temperatur udara terbayangi dan tidak, kelembaban udara daerah terbayangi dan intensitas radiasi matahari (terjadi di tipe OSH), sebaliknya semakin kecil nilai H/W menunjukkan peningkatan temperatur udara (terjadi di tipe DL). Sejalan dengan penelitian Johansson (2006) dan Paramita, dkk (2014). Demikian sebaliknya, semakin tinggi nilai H/W dapat meningkatkan kecepatan angin dan kelembaban udara. Selain itu, nilai H/W juga mempengaruhi terhadap persentase bayangan yang dihasilkan. Tipe lansekap yang berorientasi jalan menghadap Utara-Selatan (CM dan CL) menunjukkan persentase bayangan yang besar pada pagi dan sore hari. Walaupun tipe OSH memiliki nilai H/W yang cukup tinggi (3) perolehan persentase bayangannya sedikit karena berorientasi menghadap timur-Barat. Dari semua tipe lansekap, pada sore hari yang menunjukkan persentase bayangan yang lebih besar dibandingkan pagi dan siang hari (Gambar 5.22).

Pada saat pukul 10:00 - 14:00 pembayangan yang dihasilkan oleh bangunan tidak cukup untuk menurunkan temperatur udara, sehingga perlu penambahan bayangan dari pohon dan *shading device* untuk dapat menurunkan temperatur udara. Namun, perbandingan nilai H/W ini juga perlu memperhatikan parameter desain lainnya seperti komponen penutup lahan, orientasi jalan, pola penataan bangunan dan vegetasi. Sebagaimana yang dijelaskan oleh Johansson (2006) untuk menghasilkan pembayangan yang baik pada orientasi Barat-Timur membutuhkan setidaknya  $H/W \geq 4$  dan untuk orientasi Utara-Selatan membutuhkan minimal  $H/W \leq 2$ .



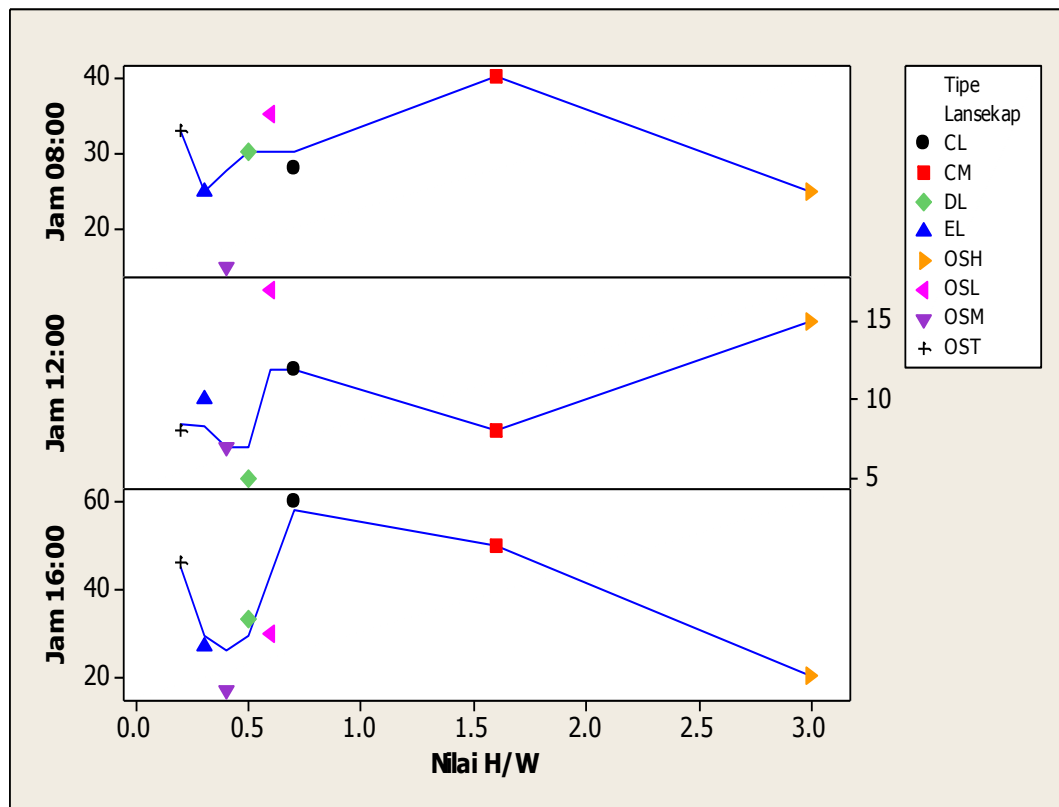


(a)



(b)

Gambar 5.21 Hubungan H/W dan Kondisi Termal di setiap tipe lansekap Selama  
(a) Siang Hari (b) Malam Hari



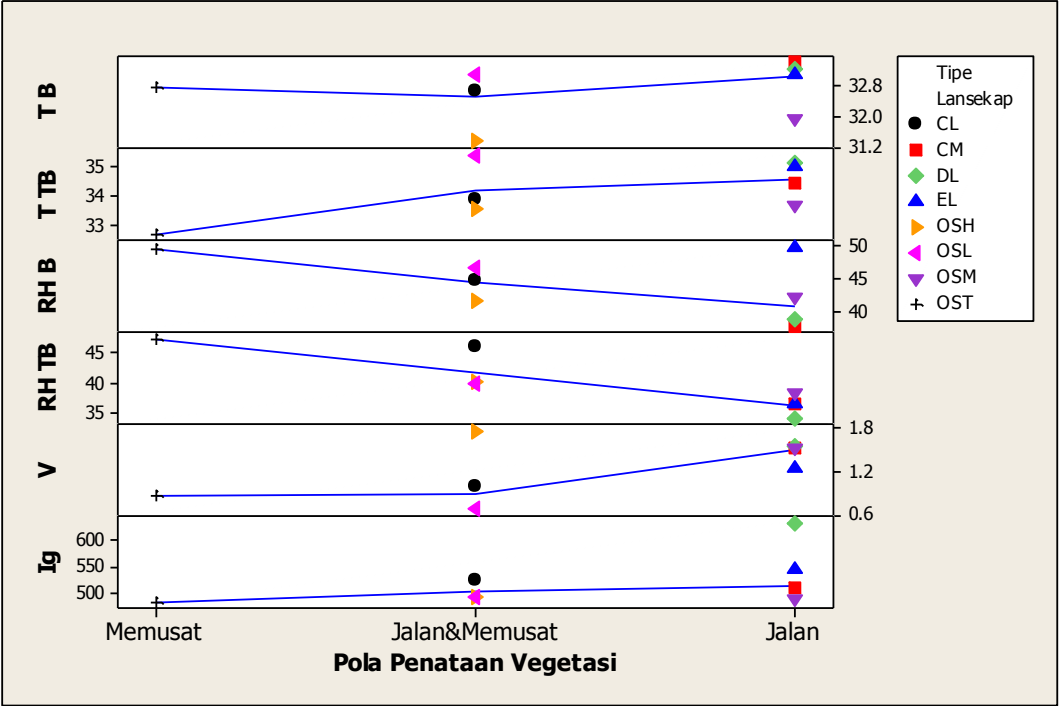
Gambar 5.22 Hubungan H/W dan Persentase Bayangan di setiap tipe lansekap

### 5.2.5 Pengaruh Pola Penataan Vegetasi

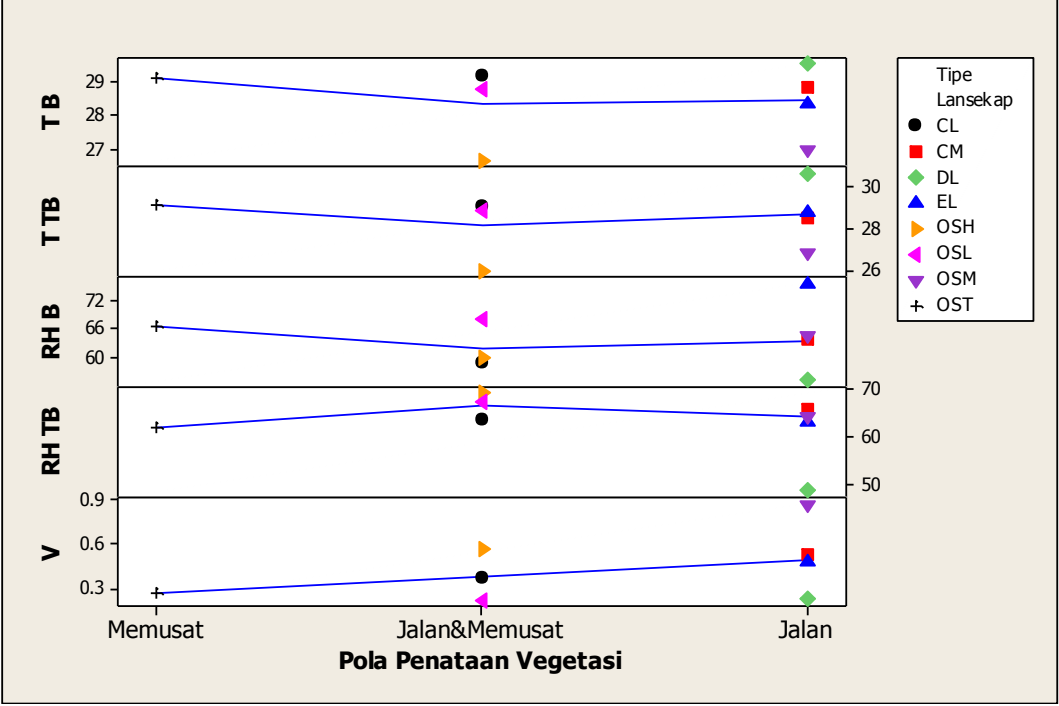
Menurut Givoni (1998), dampak radiasi matahari dapat berkurang oleh tanaman karena daun menyerap radiasi matahari untuk proses fotosintesis dan sebagai *shading* bagi elemen yang ada di balik tanaman. Penjelasan tersebut dapat memberikan dampak positif dan negatif. Seperti fenomena yang terjadi di tipe OST yang didominasi oleh pepohonan (42%). Karakteristik pohon di tipe OST memiliki pola memusat dengan kerapatan yang cukup rapat.

Selama siang hari, pepohonan yang ada memberikan efek pendinginan yaitu dengan cara dapat mengurangi dampak radiasi secara langsung dan sebagai bayangan bagi elemen yang ada di balik pohon. Namun, pada malam hari pepohonan yang ada justru dapat meningkatkan temperatur dan kelembaban udara. Karena terhalangnya pelepasan panas dari elemen penutup lahan yang ada di balik pohon tersebut (Ali-Toudert dan Mayer, 2007). Perletakan pohon secara berkelompok ini juga dapat menghalangi pergerakan udara sehingga menyebabkan kecepatan angin menjadi kecil dan tidak bisa menghapus panas pada daerah

tersebut (Gambar 5.23). Namun, perlu diperhatikan dalam penataan tata letak vegetasi, untuk menghindari terjadinya pemblokiran angin, serta pelepasan panas.



(a)



(b)

Gambar 5.23 Hubungan Pola Penataan Vegetasi dan kondisi termal di setiap tipe lansekap pada (a) Siang Hari (b) Malam Hari

Gambar 5.23 menunjukkan bahwa tipe lansekap yang memiliki pola penataan vegetasi yang cenderung mengikuti pola jalan (di sepanjang jalan) menunjukkan temperatur udara yang lebih tinggi dibandingkan dengan tipe lansekap yang memiliki pola penataan vegetasi yang mengikuti pola jalan dan berkelompok. Pola penataan vegetasi inilah yang merupakan salah satu penyebab terjadinya peningkatan temperatur udara di tipe lansekap OST. Selain itu kecepatan angin menjadi kecil pada pola memusat (tipe OST) dibandingkan pola penataan vegetasi yang mengikuti jalan.

Jadi dapat disimpulkan bahwa pola penataan vegetasi tidak terlepas dari orientasi kawasan (jalan dan bangunan) dan pola penataan bangunan serta karakteristik dari pohon (bentuk tajuk pohon dan kerapatan daun). Di setiap tipe lansekap memiliki pola penataan vegetasi berupa mengikuti pola jalan dan bangunan serta memusat. Pola penataan vegetasi berpengaruh pada perolehan bayangan, peningkatan dan penurunan temperatur udara, kelembaban udara dan kecepatan angin serta dapat mengontrol penerimaan radiasi matahari secara langsung.

#### **5.2.6 Pengaruh Panas Antropogenik**

Panas antropogenik yang dapat mempengaruhi kondisi termal, yaitu kepadatan aktivitas dari fungsi setiap tipe lansekap dan kepadatan arus lalu lintas (Gambar 5.24). Tipe OSH memiliki fungsi kawasan hunian tempat tinggal, tipe OSM dan CM sebagai kawasan pertokoan, tipe DL dan CL berfungsi sebagai kawasan perumahan, tipe OSL dan EL berfungsi sebagai kawasan komersial dan tipe OST berfungsi sebagai kawasan penghijauan. Tipe OSL memiliki frekuensi arus lalu lintas rendah, tipe OSH, OSM, CL, DL dan CL memiliki frekuensi arus lalu lintas yang sedang, sedangkan tipe CM dan OST memiliki frekuensi arus lalu lintas yang padat.

Salah satu dari pengaruh panas antropogenik berupa frekuensi arus lalu lintas yang cukup tinggi, yang dapat menyebabkan kenapa di tipe OST memiliki temperatur udara rata-rata yang cukup tinggi (30,92°C). Dilihat dari fungsi tipe lansekapnya sebagai kawasan penghijauan yang pada intinya dapat menurunkan temperatur udara baik pada siang hari maupun malam hari. Demikian juga di tipe

lansekap CM, kepadatan arus lalu lintas yang cukup tinggi dapat mempengaruhi peningkatan temperatur udara. Untuk tipe lansekap lainnya yang memiliki frekuensi arus lalu lintas yang sedang, kemungkinan tidak begitu mempengaruhi peningkatan temperatur udara rata – rata.



OSH



CM



OSM



CL



OSL



DL



OST



EL

Gambar 5.24 Gambaran Frekuensi arus lalu lintas di setiap tipe lansekap

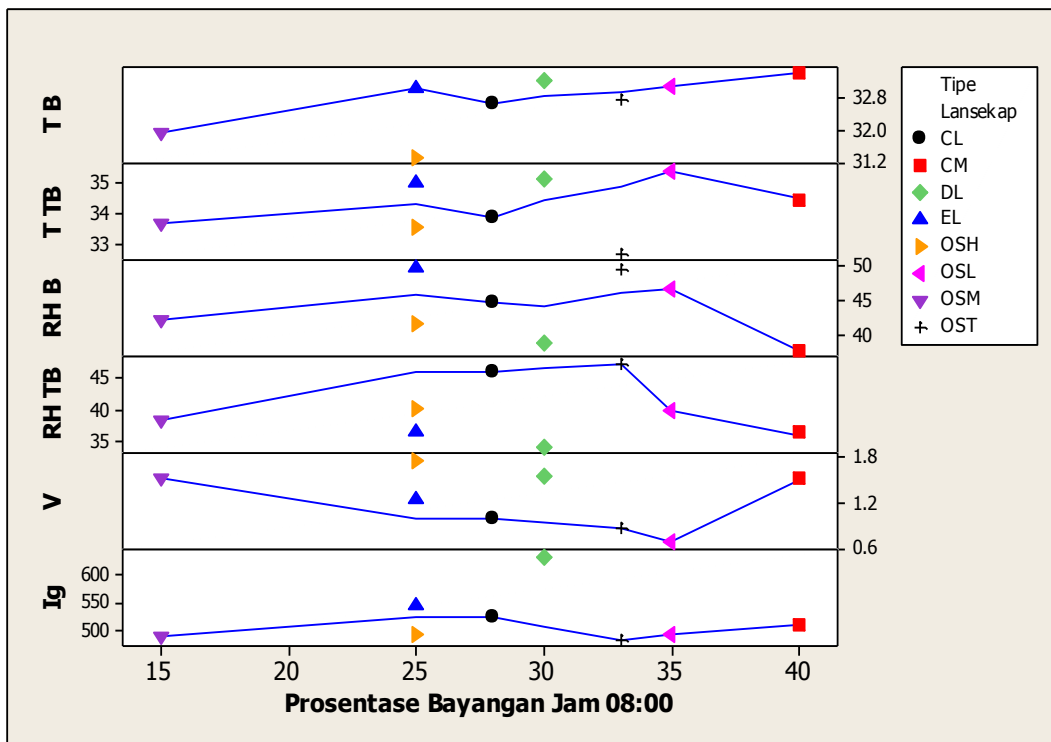
### 5.3 Pengaruh Pembayangan terhadap Kondisi Lingkungan Termal

Hasil bayangan yang dihasilkan oleh bangunan dan pohon akan memberikan pengaruh kondisi termal yang berbeda. Hal ini tergantung dari elemen komponen penutup lahan yang ada di bawah bayangan tersebut. Selama siang hari bayangan yang dihasilkan oleh bangunan dan pohon akan memberikan pengaruh yang sama yaitu dapat menurunkan temperatur udara dengan efek

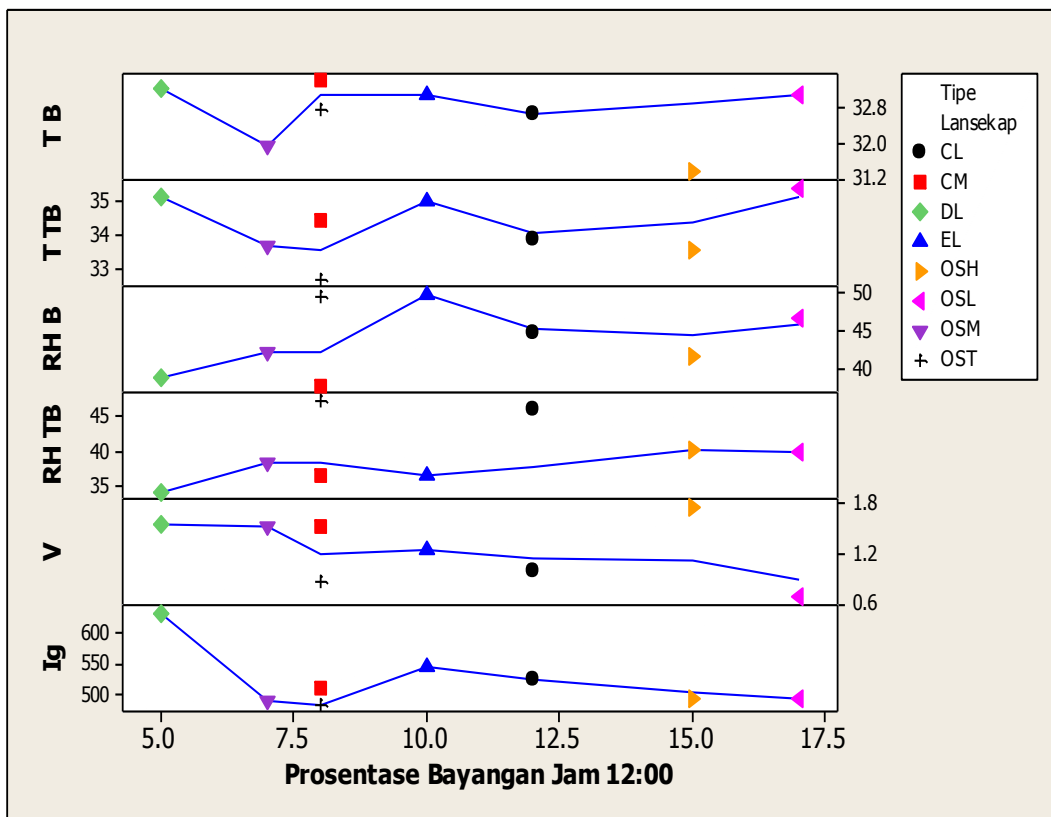
pendinginan yang berbeda. Namun selama malam hari bayangan tersebut akan memberikan pengaruh yang berbeda, tergantung elemen penutup lahan yang ada. Hal ini berpengaruh pada pelepasan panas ke langit bebas. Sebagaimana dengan yang dijelaskan Obi (2014) faktor utama yang menentukan efek pendinginan pohon adalah transmisinya, fraksi energi radiasi yang telah memasuki kanopi pohon, seberapa jumlah cahaya yang diserap oleh daun dan digunakan untuk fotosintesis, berapa jumlah yang dipantulkan kembali ke atmosfer dan berapa jumlah yang sedang dikirim ke rumput, tanah, paving atau aspal yang merupakan komponen penutup lahan yang berada di bawah pohon.

Sebagai contoh, pelepasan panas yang berada di bawah pohon atau berada di sekitar bangunan akan terhambat, dibandingkan jika pada ruang terbuka bebas hambatan. Secara tidak langsung, perilaku termal ini akan berdampak pada kondisi iklim mikro di setiap tipe lansekap. Perilaku termal di atas terjadi pada tipe lansekap DL, OSH dan OSM. Pelepasan panas terlihat dari penurunan temperatur yang cukup cepat pada daerah yang tidak terbayangi dibandingkan pada daerah yang terbayangi. Vegetasi berkontribusi untuk kenyamanan termal tidak hanya dari pembayangan yang dihasilkan, tetapi juga dengan mengurangi emisi gelombang panjang dari permukaan penutup lahan dan dapat membatasi jumlah radiasi matahari yang dipantulkan (Shashua-Bar, 2011).

Gambar 5.25 menunjukkan adanya hubungan persentase bayangan dan kondisi iklim mikro di setiap tipe lansekap menurut tiga waktu (08:00, 12:00 dan 16:00). Pada jam 12:00 dan 16:00 mempunyai hubungan yang sama dalam mempengaruhi kondisi iklim mikro, berbeda dengan jam 08:00. Pada jam 08:00 peningkatan persentase bayangan dapat menaikkan temperatur dan kelembaban udara, karena pada saat itu juga terjadi peningkatan intensitas radiasi matahari. Berbanding terbalik pada pukul 12:00 dan 16:00, peningkatan persentase bayangan yang dihasilkan dapat menurunkan temperatur udara, kecepatan angin dan intensitas radiasi matahari dan menaikkan kelembaban udara.

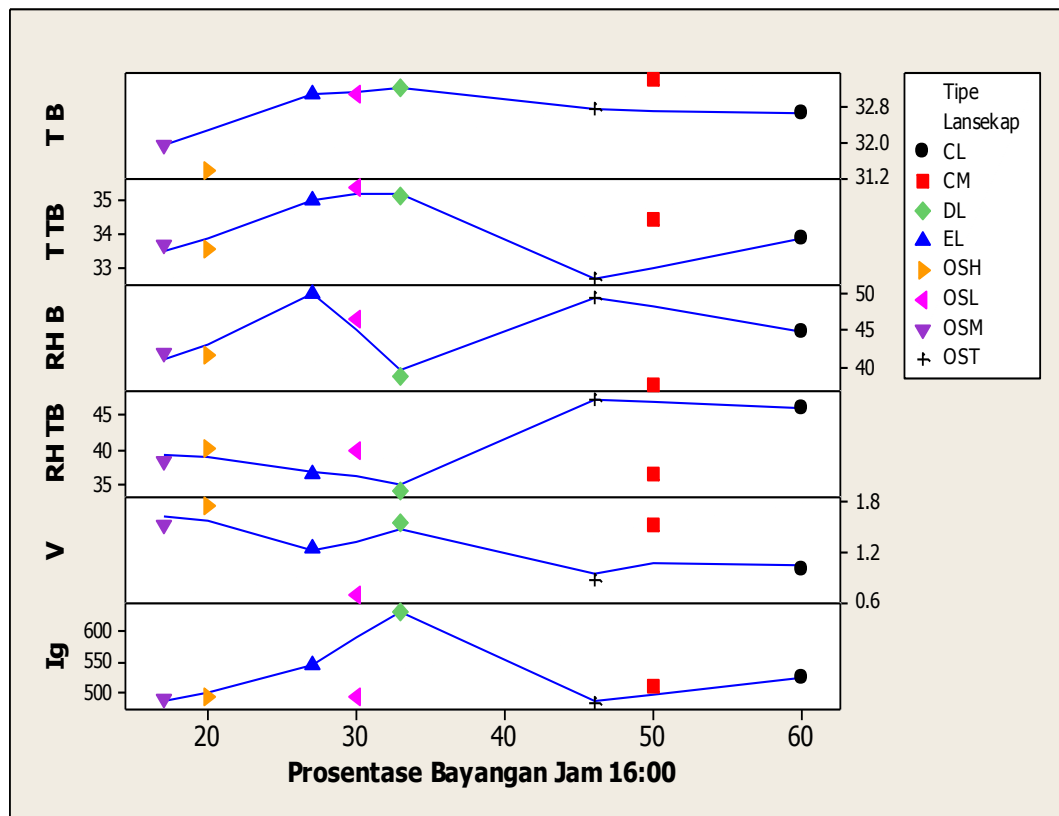


(a)



(b)

Gambar 5.25 Hubungan Persentase Bayangan dan kondisi termal di setiap tipe lansekap pada Siang Hari (a) Jam 08:00 (b) Jam 12:00



(c)

Gambar 5.25 Hubungan Persentase Bayangan dan kondisi termal di setiap tipe lansekap pada Siang Hari (Jam 16:00)

#### 5.4 Rangkuman dan Diskusi: Pengaruh Karakteristik Komposisi dan Konfigurasi serta Pembayangan terhadap Kondisi Lingkungan Termal

Subbab ini akan menjawab pertanyaan penelitian kedua, yaitu menjelaskan hubungan antara komposisi dan konfigurasi lansekap ruang kota serta pembayangan yang dihasilkan oleh komposisi dan konfigurasi lansekap ruang kota pada kondisi termal perkotaan di daerah iklim tropis lembab.

Berdasarkan penjelasan analisa sebelumnya dapat disimpulkan bahwa komposisi dan konfigurasi lansekap serta pembayangan sangat mempengaruhi kondisi iklim mikro di setiap tipe lansekap (Tabel 5.3). Dari kondisi iklim mikro tersebut, sehingga diketahui tipe lansekap yang dapat memenuhi kriteria kenyamanan termal ruang luar. Tipe OSH berpotensi lebih baik dalam menciptakan kondisi iklim mikro dibandingkan tipe lansekap lainnya. Namun di tipe OST, yang seharusnya dapat menciptakan iklim mikro yang baik, tetapi pada kenyataan di lapangan tidak. Selama siang hari berpotensi memberikan efek



pendinginan yang lebih baik dibandingkan tipe lansekap lainnya. Namun pada malam hari tidak, dikarenakan tingginya nilai kelembaban udara yang diciptakan oleh pohon sehingga dapat meningkatkan temperatur udara. Hal ini perlu memperhatikan hubungan antara parameter desain pada komposisi, konfigurasi dan pembayangan dari suatu tipe lansekap. Untuk melihat korelasi/hubungan antara masing-masing parameter desain tersebut dengan kondisi iklim dapat dilihat pada tabel 5.3.

Tabel 5.3 menunjukkan hasil korelasi antara komposisi dan konfigurasi lansekap serta pembayangan dalam mempengaruhi kondisi lingkungan termal. Adapun penjelasannya sebagai berikut:

- **Komponen Penutup Lahan**

Dari ketiga komponen penutup lahan tersebut, penutup lahan berupa area bangunan yang paling signifikan mempengaruhi peningkatan temperatur udara pada daerah yang terbayangi. Sementara komponen penutup lahan aspal+paving memiliki korelasi negatif terhadap temperatur udara, artinya semakin besar persentasenya dapat menurunkan temperatur udara. Berbeda dengan penutup lahan alami (pohon, rumput dan tanah) sangat mempengaruhi temperatur udara pada daerah yang tidak terbayangi. Semakin besar persentase penutup lahan alami dapat meningkatkan temperatur udara pada daerah yang terbayangi.

Terlihat di tipe DL dan OST yang merupakan tipe lansekap yang penutup lahan alami relatif lebih tinggi dibandingkan penutup lahan buatan menunjukkan temperatur udara rata-rata yang lebih tinggi dibandingkan tipe lansekap lainnya yang memiliki penutup lahan buatan relatif lebih besar baik selama siang dan malam hari. Sebagaimana Oke (1982) menjelaskan bahwa komponen penutup lahan memiliki sifat termal yang berbeda-beda. Selain itu juga dipengaruhi oleh pelepasan panas dari elemen penutup lahan yang ada di balik pohon (Ali-Toudert dan Mayer, 2007).

Hasil korelasi untuk penutup lahan alami ini, berbeda dengan teori-teori sebelumnya. Secara teori, vegetasi dapat menurunkan temperatur udara dan kecepatan angin pada iklim mikro di sekitarnya. Ini dapat menciptakan efek pendinginan bagi perkotaan. Namun ini masih generalisasi, hasil pengukuran lapangan ada tipe lansekap yang menunjukkan sebaliknya, sehingga perlu

Tabel 5.3 Hubungan Pembayangan dan Lansekap Ruang Kota terhadap Sistem Lingkungan Termal Perkotaan.

Parameter Desain	Kondisi Termal : Siang Hari						Kondisi Termal : Malam Hari				
	Ta		RH		V	Ig	Ta		RH		V
	B	TB	B	TB			B	TB	B	TB	
<b>Komposisi dan Konfigurasi</b>											
• Komponen Penutup Lahan											
Lahan Area Bangunan,	(+) 0,50	(+) 0,33	(+) 0,06	(+) 0,001	(-) 0,34	(+) 0,11	(+) 0,63	(+) 0,65	(+) 0,11	(-) 0,21	(-) 0,43
Aspal+Paving	(+) 0,07	(+) 0,05	(-) 0,33	(+) 0,03	(+) 0,04	(+) 0,01	(+) 0,01	(-) 0,03	(+) 0,32	(-) 0,02	(+) 0,20
Lahan Alami (Pohon, Rumpun, Tanah)	(+) 0,01	(-) 0,02	(+) 0,03	(+) 0,01	(-) 0,04	(+) 0,12	(+) 0,20	(+) 0,24	(-) 0,37	(-) 0,11	(-) 0,44
• Orientasi Jalan / Kawasan	(-) 0,10	(+) 0,07	(-) 0,08	(+) 0,20	(-) 0,001	(-) 0,05	(-) 0,12	(-) 0,30	(+) 0,07	(+) 0,34	(+) 0,09
• Pola Massa Bangunan	(-) 0,32	(+) 0,001	(-) 0,05	(+) 0,01	(+) 0,13	(-) 0,13	(-) 0,62	(-) 0,68	(+) 0,14	(+) 0,40	(+) 0,60
• Nilai H/W	(-) 0,30	(-) 0,03	(-) 0,23	(-) 0,01	(+) 0,35	(-) 0,06	(-) 0,42	(-) 0,30	(+) 0,23	(-) 0,11	(+) 0,07
• Pola Penataan Vegetasi	(+) 0,05	(+) 0,40	(-) 0,80	(-) 0,30	(+) 0,30	(+) 0,34	(+) 0,001	(-) 0,02	-	(-) 0,07	(+) 0,21
<b>Pola Pembayangan</b>											
• Pagi 08:00	(+) 0,47	(+) 0,07	(+) 0,05	(+) 0,04	(-) 0,09	(+) 0,02	-	-	-	-	-
• Siang 12:00	(-) 0,08	(-) 0,01	(+) 0,30	(+) 0,03	(-) 0,31	(-) 0,02	-	-	-	-	-
• Sore 16:00	(-) 0,06	(-) 0,01	(+) 0,23	(+) 0,001	(-) 0,08	(-) 0,06	-	-	-	-	-
<b>Panas Antropogenik</b>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Keterangan : Ta : Temperatur Udara      Ig : Intesitas Radiasi Matahari      (+) : Korelasi Positif RH : Kelembaban Udara      B : Terbayangi      (-) : Korelasi Negatif V : Kecepatan Angin      TB : Tidak Terbayangi      : Nilai korelasi paling tinggi											

memperhatikan persentase penutup lahan dan perletakan yang tepat. Dengan demikian, komponen penutup lahan alami ini tidak dapat berdiri sendiri dalam mempengaruhi kondisi termal perkotaan. Artinya, perlu saling terkait antar parameter desain lainnya, seperti orintasi jalan, pola penataan vegetasi, perbandingan nilai H/W dan pola pembayangan yang juga berbeda-beda dalam mempengaruhi kondisi termal.

- Orientasi Jalan

Orientasi jalan ini memiliki korelasi negatif dengan temperatur udara pada daerah yang terbayangi. Artinya orientasi jalan yang cenderung berorientasi Utara-Selatan berpengaruh yang paling signifikan terhadap penurunan temperatur udara. Orientasi jalan Utara-Selatan ini berpotensi lebih baik dalam menghasilkan prosentasi bayangan yang lebih luas, sehingga dapat menurunkan temperatur dan kelembaban udara pada daerah yang tidak terbayangi, namun orientasi ini tidak menguntungkan dalam perolehan kecepatan angin. Jadi, perlu memperhatikan perbandingan nilai H/W, hal ini terkait untuk mendapatkan persentase pembayangan yang luas. Sebagaimana Emmanuel dkk (2007) menjelaskan bahwa orientasi dan nilai H/W merupakan faktor yang berpengaruh terhadap perolehan pembayangan.

Ali-Toudert & Mayer (2007) menjelaskan untuk orientasi Utara-Selatan dengan nilai H/W yang cukup tinggi menguntungkan dalam menurunkan temperatur udara, dibandingkan dengan orientasi Barat – Timur dengan nilai H/W kecil. Hal ini terbukti di lapangan, rata-rata tipe lansekap yang berada di orientasi Utara – Selatan memiliki nilai H/W yang rendah ( $\leq 1$ ) sehingga menunjukkan nilai temperatur udara yang tinggi ( $33,88^{\circ}\text{C}$ ). Sementara tipe lansekap yang berada di orientasi Barat – Timur dengan nilai H/W yang cukup tinggi ( $\geq 3$ ) menunjukkan temperatur udara yang terendah ( $31,33^{\circ}\text{C}$ ). Untuk di daerah tropis orientasi Barat – Timur ini menguntungkan dalam perolehan kecepatan angin, karena pada umumnya arah angin cenderung dari Barat atau Timur.

Dengan demikian dapat disimpulkan bahwa orientasi jalan merupakan faktor fundamental dalam memberikan perolehan kecepatan angin dan persentase pembayangan. Perolehan kecepatan angin di satu tipe lansekap sangat dipengaruhi

oleh penataan perletakan bangunan dan pohon terkait dengan arah datang angin. Hal ini berkaitan dengan kecepatan angin yang dapat mereduksi kelembaban udara. Seperti diketahui di daerah tropis lembab, kelembaban udara sangat tinggi dan kecepatan angin rendah, sehingga perlunya untuk mengoptimalkan kecepatan angin pada suatu tipe lansekap sehingga dapat menciptakan kenyamanan termal ruang luar. Ahmed (2003) menjelaskan bahwa dengan tingginya kecepatan angin dapat menghapus kelembaban udara.

- Pola Massa Bangunan

Pola massa bangunan sangat berpengaruh terhadap peningkatan temperatur. Artinya, pola penataan bangunan menyebar dapat mempengaruhi peningkatan temperatur dan kelembaban udara dibandingkan pola bangunan linier dan grid. Hal ini juga dipengaruhi oleh penurunan kecepatan angin pada pola penataan bangunan menyebar dibandingkan pola bangunan linier dan grid. Seperti di tipe DL dengan pola menyebar dapat meningkatkan intensitas radiasi matahari yang diserap oleh permukaan penutup lahan. Hal ini terkait karena nilai H/W yang kecil di tipe DL tersebut dapat meningkatkan penerimaan panas relatif besar dan dengan pola menyebar dapat mengakibatkan durasi penerimaan panas relatif panjang selama siang hari. Sebagaimana Taleghani (2015) menjelaskan bahwa *urban form* mempengaruhi durasi intensitas radiasi matahari langsung. Dengan demikian menunjukkan bahwa pola massa bangunan ini juga perlu memperhatikan komposisi dan konfigurasi lansekap lainnya seperti orientasi jalan dan nilai H/W, yang berpengaruh dalam mengontrol penerimaan intensitas radiasi matahari dan kecepatan angin.

- Perbandingan Nilai H/W

Semakin besar nilai H/W menunjukkan penurunan temperatur udara terbayangi dan tidak, kelembaban udara daerah terbayangi dan intensitas radiasi matahari (terjadi di tipe OSH), sebaliknya semakin kecil nilai H/W menunjukkan peningkatan temperatur udara (terjadi di tipe DL). Sejalan dengan penelitian Johansson (2006), dan Paramita, dkk (2014) yang menjelaskan peningkatan dan penurunan nilai H/W akan berpengaruh pada peningkatan dan penurunan

temperatur udara. Kemudian Rose (2011) menunjukkan bahwa peningkatan aspek ratio bangunan ( $H/W$ ) / geometri jalan dan persentase area terbangun dapat secara signifikan meningkatkan kenyamanan termal di siang hari. Sebaliknya, dapat memperburuk kenyamanan termal dan meningkatkan penggunaan energi untuk pendinginan sepanjang malam hari. Namun, dalam penelitian ini berbeda pada kondisi malam hari. Selama malam hari, tipe OSH ini masih menunjukkan temperatur udara yang lebih rendah. Hal ini kemungkinan dapat dipengaruhi oleh komposisi dan konfigurasi lansekap. Seperti yang sudah dijelaskan sebelumnya yaitu orientasi jalan dan pola massa bangunan yang tetap perlu memperhatikan nilai  $H/W$ . Di mana parameter-parameter desain ini akan berpengaruh pada perolehan bayangan, kecepatan angin, intensitas radiasi matahari dan temperatur udara.

- Pola Penataan Vegetasi

Pola penataan vegetasi yang cenderung mengikuti pola jalan (di sepanjang jalan) menunjukkan temperatur udara lebih tinggi dibandingkan pola penataan vegetasi yang mengikuti pola jalan dan berkelompok. Hal ini menunjukkan bahwa pola penataan vegetasi tidak terlepas dari orientasi kawasan (jalan dan bangunan) dan pola penataan bangunan. Di mana akan berpengaruh pada perolehan bayangan, peningkatan dan penurunan temperatur udara, kelembaban udara dan kecepatan angin serta dapat mengontrol penerimaan radiasi matahari secara langsung. Obi (2014) menjelaskan bahwa untuk memberikan pengaruh yang signifikan terhadap kondisi termal, penataan vegetasi perlu memperhatikan konfigurasi kerapatan vegetasi yang terbentuk, jarak antar pohon dari bangunan kaitan dengan bayangan yang akan dihasilkan, karakteristik pohon (posisi, bentuk dan tinggi kanopi) dan orientasi sehingga dapat memberikan efek positif berupa pembayangan, sehingga dapat mengurangi panas dan mengendalikan efek angin.

Pola penataan vegetasi yang tidak tepat akan mempengaruhi kondisi termal. Ali-Toudert dan Mayer (2007) menjelaskan adanya efek negatif dari vegetasi di iklim hangat, yaitu pohon dapat memblokir angin dengan mengurangi kecepatan angin sebesar 30-40%. Sementara jika perletakan pohon yang tepat, seperti searah

dengan arah datang angin akan dapat meningkatkan kecepatan angin sehingga dapat menciptakan kenyamanan termal.

- Pola Pembayangan

Persentase bayangan yang dihasilkan setiap waktu juga berbeda-beda dalam mempengaruhi kondisi iklim mikro. Pada pagi hari, pukul 08:00 menunjukkan bahwa semakin besar persentase bayangan yang dihasilkan dapat menurunkan perolehan kecepatan angin, sehingga dapat meningkatkan temperatur dan kelembaban udara karena pada pagi hari juga disertai dengan peningkatan intensitas radiasi matahari. Berbeda dengan nilai persentase yang dihasilkan pada pukul 16:00. Pada pukul tersebut, peningkatan nilai persentase bayangan dapat menurunkan temperatur udara dan menaikkan kelembaban udara. Hal ini bisa dipengaruhi oleh, pada sore hari sudah mulai berkurangnya penerimaan intensitas radiais matahari, sehingga pembayangan yang ada sangat membantu dalam menurunkan temperatur udara. Sementara pada siang hari, dengan pembayangan yang sangat kecil sekali, ditambah peningkatan intensitas radiasi matahari yang cukup tinggi, sehingga perlu adanya peningkatan pola pembayangan yang baik dibutuhkan pada pukul 10:00 – 14:00 untuk dapat meningkatkan kenyamanan termal ruang luar. Selama siang hari pembayangan dari pohon (karakteristik pohon) lebih efisien dari pada bayangan dari bangunan, demikian sebaliknya. Perlu dilihat komponen elemen penutup lahan yang berada di bawah daerah yang terbayangi.

Namun, tidak selamanya daerah yang terbayangi tidak selalu menunjukkan temperatur yang lebih rendah dibandingkan daerah tidak terbayangi, dengan kata lain pembayangan yang dihasilkan dapat menurunkan dan menaikkan temperatur udara (seperti yang terjadi di tipe lansekap OST). Pelepasan panas yang berada di bawah pohon atau berada di sekitar bangunan akan terhambat, dibandingkan jika pada ruang terbuka bebas hambatan. Secara tidak langsung, perilaku termal ini akan berdampak pada kondisi iklim mikro di setiap tipe lansekap. Perilaku termal di atas terjadi pada tipe lansekap DL, OSH dan OSM. Pelepasan panas terlihat dari penurunan temperatur yang cukup cepat pada daerah yang tidak terbayangi dibandingkan pada daerah yang terbayangi.

Dapat disimpulkan bahwa untuk menghasilkan bayangan yang tepat (untuk dapat menurunkan temperatur udara) dari bangunan dan pohon perlu dipertimbangkan variabel konfigurasi lansekap. Penyediaan tambahan bayangan dari vegetasi berupa pohon sangat diperlukan. Shashua-Bar (2011) menjelaskan bahwa vegetasi berkontribusi untuk menciptakan kenyamanan termal. Di mana, kelimpahan pohon merupakan salah satu karakteristik dari daerah tropis lembab yaitu berupa hutan hujan tropis. Oleh karena itu, pemanfaatan pohon ini sangat memberikan pengaruh terhadap kenyamanan termal ruang perkotaan, dengan strategi penataan yang tepat, untuk menghindari terjadinya pemblokiran angin, serta pelepasan panas.

- Panas Antropogenik

Secara umum, peningkatan frekuensi arus lalu lintas dapat mempengaruhi kondisi termal perkotaan, ditandai dengan dapat meningkatkan temperatur dan kelembaban udara. Namun tidak terlepas dari jarak antara kawasan tipe lansekap dengan arus lalu lintas tersebut.

Berdasarkan hasil analisa di atas setiap parameter desain dari sebuah tipe lansekap memiliki karakteristik tersendiri dalam mempengaruhi kondisi iklim mikro. Dengan kata lain antara parameter desain tersebut juga saling mempengaruhi. Dari hal tersebut dapat disimpulkan bahwa sistem termal perkotaan dipengaruhi oleh beberapa parameter desain, yaitu sebagai berikut:

- Kondisi temperatur udara. Peningkatan temperatur udara lebih dipengaruhi oleh komponen penutup lahan buatan berupa area bangunan dan penutup lahan alami, penataan pola massa bangunan, pola penataan vegetasi dan panas antropogenik berupa kepadatan arus lalu lintas. Namun penurunan temperatur udara lebih dipengaruhi oleh orientasi jalan/kawasan, nilai H/W dan pola pembayangan. Hal ini berlaku untuk daerah yang terbayangi dan tidak terbayangi.
- Kondisi Kelembaban Udara. Kelembaban udara baik pada daerah yang terbayangi dan tidak terbayangi memiliki pola yang berbeda dalam

dipengaruhi oleh parameter desain dari lansekap. Hal ini berbeda dengan kondisi temperatur udara. Pada daerah yang terbangangi, peningkatan kelembaban udara cenderung dipengaruhi oleh komponen penutup lahan area bangunan, pola pembayangan dan frekuensi arus lalu lintas. Berbanding terbalik pada daerah yang tidak terbangangi. Peningkatan kelembaban udara dipengaruhi oleh komponen penutup lahan alami, orientasi jalan, pola massa bangunan, nilai H/W dan pola pembayangan. Namun yang paling signifikan berpengaruh dalam penurunan kelembaban udara baik pada daerah yang terbangangi dan tidak adalah pola penataan vegetasi.

- Kondisi kecepatan angin. Peningkatan perolehan kecepatan angin lebih dipengaruhi oleh perbandingan nilai H/W dan pola penataan vegetasi.
- Kondisi intensitas radiasi matahari cenderung dipengaruhi oleh komponen penutup lahan area terbangun, orientasi jalan, pola massa bangunan dan pola penataan vegetasi.

Dapat disimpulkan bahwa antar parameter desain tersebut (komposisi, konfigurasi, pembayangan dan panas antropogenik) tidak secara terpisah dalam mempengaruhi kondisi lingkungan termal perkotaan. Artinya perbedaan peran bangunan sebagai pembayangan dan penyerapan panas terjawab, seperti yang terjadi di tipe lansekap OST. Namun, untuk melihat bagaimana dan parameter desain apa (komposisi dan konfigurasi lansekap ruang kota serta pembayangan yang dihasilkan) yang paling dominan dalam mempengaruhi sistem lingkungan termal perkotaan, akan didiskusikan pada bab selanjutnya dalam simulasi kondisi lingkungan termal perkotaan sehingga tercapai optimasi kenyamanan termal ruang luar di sebuah tipe lansekap perkotaan. Hasil nilai korelasi di atas akan digunakan sebagai acuan.



**Halaman ini sengaja dikosongkan**

## **BAB 6**

### **SIMULASI SISTEM LINGKUNGAN TERMAL PERKOTAAN**

#### **6.1. Verifikasi Hasil Lapangan dan Hasil Simulasi**

Verifikasi ini bertujuan untuk mengetahui seberapa besar perbedaan hasil pengukuran lapangan dan hasil simulasi. Jika terpenuhi kriteria verifikasi, maka hasil ini digunakan untuk menganalisa sistem termal perkotaan di setiap tipe lansekap dengan menggunakan data iklim makro Surabaya. Verifikasi ini menggunakan data iklim makro Surabaya, dilakukan pada 2 tipe lansekap, yaitu di tipe OSH dan OST.

Secara umum, untuk kedua tipe lansekap yang diverifikasi memiliki pola pergerakan temperatur udara selama 24 jam yang sama antara hasil lapangan dan hasil simulasi. Namun, secara angka jelas pada hasil pengukuran lapangan menunjukkan yang lebih tinggi dibandingkan hasil simulasi. Hal ini disebabkan karena adanya penyederhanaan pada model simulasi dan data input yang dimasukkan berupa data iklim makro Surabaya (sudah dijelaskan sebelumnya pada bab 3). Sementara di lapangan, data iklim yang diukur sudah berupa data iklim mikro.

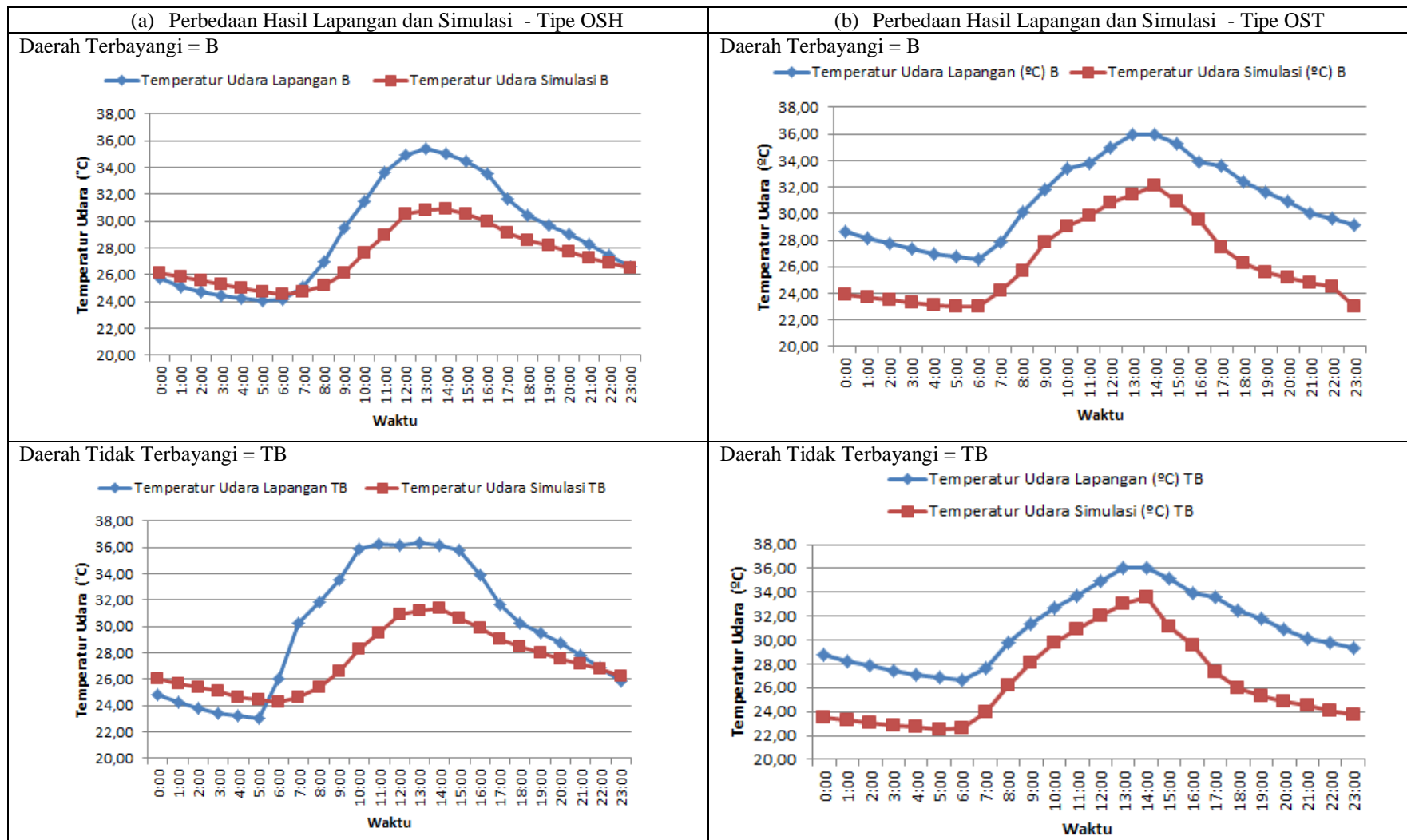
Di tipe OSH, hasil lapangan menunjukkan temperatur lebih tinggi dibandingkan hasil simulasi pada siang hari, sebaliknya pada malam hari temperatur hasil simulasi menunjukkan lebih tinggi dibandingkan hasil lapangan. Perbedaan temperatur sebesar 3,61 – 3,91 K (deviasi 2,00) pada daerah terbayangi dan 2,44 – 4,08 K (deviasi 3,18) pada daerah tidak terbayangi. Pola pergerakan temperatur udara hasil simulasi tersebut sama dengan hasil pengukuran lapangan. Namun di tipe OST, hasil lapangan menunjukkan temperatur lebih tinggi dibandingkan hasil simulasi selama 24 jam. Perbedaan temperatur 0,69 – 4,16 K (deviasi 0,86) pada daerah terbayangi dan 1,40 – 4,75 K (deviasi 1,25) pada daerah yang tidak terbayangi (Gambar 6.2). Data perbandingan verifikasi data hasil simulasi dan pengukuran lapangan terlampir (Lampiran 6.1).

Penelitian Bruse (2009) yang menyatakan bahwa terdapatnya perbedaan temperatur udara hasil lapangan dan hasil simulasi 2 – 4 °C. Demikian juga dengan beberapa penelitian yang dilakukan oleh Emmanuel dkk (2007), Kakon

dkk (2009), Wong dkk (2012) dan Wei,Yang (2014) yang menjelaskan bahwa hasil simulasi ENVI-met menunjukkan hasil temperatur udara lebih rendah dibandingkan hasil pengukuran lapangan. Sementara Taleghani dkk (2015) untuk menunjukkan perbedaan hasil simulasi dan lapangan dengan menggunakan hasil korelasi  $R^2 = 0,8$ . Penelitian ini juga menunjukkan nilai korelasi yang hampir sama dengan penelitian Taleghani yaitu dengan nilai korelasi kisaran  $R^2 = 0,7 - 0,9$ . Namun, rentang perbedaan pada penelitian-penelitian tersebut tidak mutlak, masih terdapat toleransi, sehingga nilai penyimpangan yang ada masih berada dalam batas penyimpangan, sehingga simulasi *software* ENVI-met ini bisa digunakan selanjutnya (Tabel 6.1).

Tabel 6.1 Verifikasi Hasil Pengukuran Lapangan dan Simulasi Berdasarkan Penelitian Terdahulu

	Peneliti terdahulu	Penelitian ini	Hasil Verifikasi
Perbedaan temperatur udara	<ul style="list-style-type: none"> <li>•Bruse (2009) <math>\Delta T = 2-4</math> K</li> <li>•Wei, Yang (2014) <math>\Delta T = 0,2-2,5</math> K</li> </ul>	Tipe OSH <ul style="list-style-type: none"> <li>•Daerah terbayangi, <math>\Delta T = 3,61 - 3.91</math> K</li> <li>•Daerah tidak terbayangi <math>\Delta T = 2,44 - 4,08</math> K</li> </ul>	Perbedaan temperatur udara hampir sama dengan penelitian terdahulu
		Tipe OST <ul style="list-style-type: none"> <li>•Daerah terbayangi, <math>\Delta T = 0,69 - 4,16</math> K</li> <li>Daerah tidak terbayangi <math>\Delta T = 1,40 - 4,75</math> K</li> </ul>	
Nilai Korelasi Perbedaan Temperatur Udara	Taleghani dkk (2015) $R^2 = 0,8$	Tipe OSH <ul style="list-style-type: none"> <li>•Daerah terbayangi, <math>R^2 = 0,9</math></li> <li>•Daerah tidak terbayangi <math>R^2 = 0,7</math></li> </ul>	Nilai Korelasi Perbedaan Temperatur Udara hampir sama dengan penelitian terdahulu
		Tipe OST <ul style="list-style-type: none"> <li>•Daerah terbayangi, <math>R^2 = 0,9</math></li> <li>•Daerah tidak terbayangi <math>R^2 = 0,8</math></li> </ul>	



Gambar 6.1 Perbedaan Temperatur Udara Hasil Pengukuran Lapangan dan Hasil Simulasi di Tipe Lansekap OSH (a) dan OST (b). Hasil Pengukuran Lapangan menunjukkan lebih tinggi dari Hasil Simulasi

## **6.2. Hasil Simulasi Kondisi Termal dan Kenyamanan Termal Ruang Luar di Setiap Tipe Lansekap**

Simulasi kondisi termal dilakukan di setiap tipe lansekap pada bulan terpanas (Oktober) dan bulan terdingin (Juli). Hasil simulasi kondisi termal berupa temperatur udara ( $T_a$ ), kelembaban udara (RH), kecepatan angin (V), intensitas radiasi matahari dan temperatur radiasi matahari ( $T_{mrt}$ ), serta penilaian indek kenyamanan termal ruang luar PET. Selanjutnya untuk menjawab pertanyaan penelitian kedua (kelanjutan dari indikasi awal hasil pengukuran lapangan pada bab 5.4), hasil data simulasi ini akan dianalisa dengan menggunakan statistik MANOVA dengan menggunakan *software* IBM SPSS Statistic 21. Analisis ini untuk menunjukkan bagaimana pengaruh lansekap dan pembayangan terhadap kondisi termal.

Dari hasil indikasi awal kondisi termal (iklim mikro) dari hasil pengukuran lapangan di setiap tipe lansekap dapat disimpulkan bahwa temperatur udara diidentifikasi sebagai parameter fundamental untuk melihat tren (kecenderungan) dalam perubahan iklim mikro dari suatu tipe lansekap ruang kota. Temperatur terendah terlihat pada sebelum matahari terbit (pukul 05:00 (tipe OSH, OSM, CM dan OSL) – pukul 06:00 (tipe CL, DL, EL, dan OST)) dan temperatur tertinggi terlihat setelah 2 jam waktu puncak intensitas radiasi matahari tertinggi (pukul 13:00 (tipe OSH, OSM, CM dan OSL) – pukul 14:00 (tipe CL, DL, EL, dan OST)). Namun, ada di beberapa tipe lansekap yang menunjukkan kondisi termal berbeda dengan yang seharusnya, misalnya di tipe lansekap OST yang merupakan kawasan penghijauan. Suatu kawasan yang lebih luas seperti taman dapat memiliki efek pendinginan yang lebih signifikan (Yu dan Hien, 2006). Di tipe ini menunjukkan temperatur udara yang tinggi, selain dipengaruhi oleh perletakan vegetasi yang tidak tepat, sehingga angin terblokir dan tidak dapat menghapus panas yang ada. Selain itu juga dipengaruhi oleh faktor eksternal berupa frekuensi arus lalu lintas yang padat.

Hasil lapangan menunjukkan bahwa ada faktor eksternal yang dapat mempengaruhi kondisi termal, sehingga diperlukan untuk dilakukan simulasi. Namun, untuk menganalisa hasil simulasi ini, faktor-faktor apa saja yang mempengaruhi hanya dilihat dari parameter desain yang telah ditentukan dan

hanya terbaca oleh simulasi, yaitu komposisi lansekap (persentase penutup lahan), konfigurasi lansekap berupa orientasi jalan, perbandingan nilai H/W, pola massa bangunan dan pola penataan vegetasi, serta pembayangan yang dihasilkan oleh lansekap.

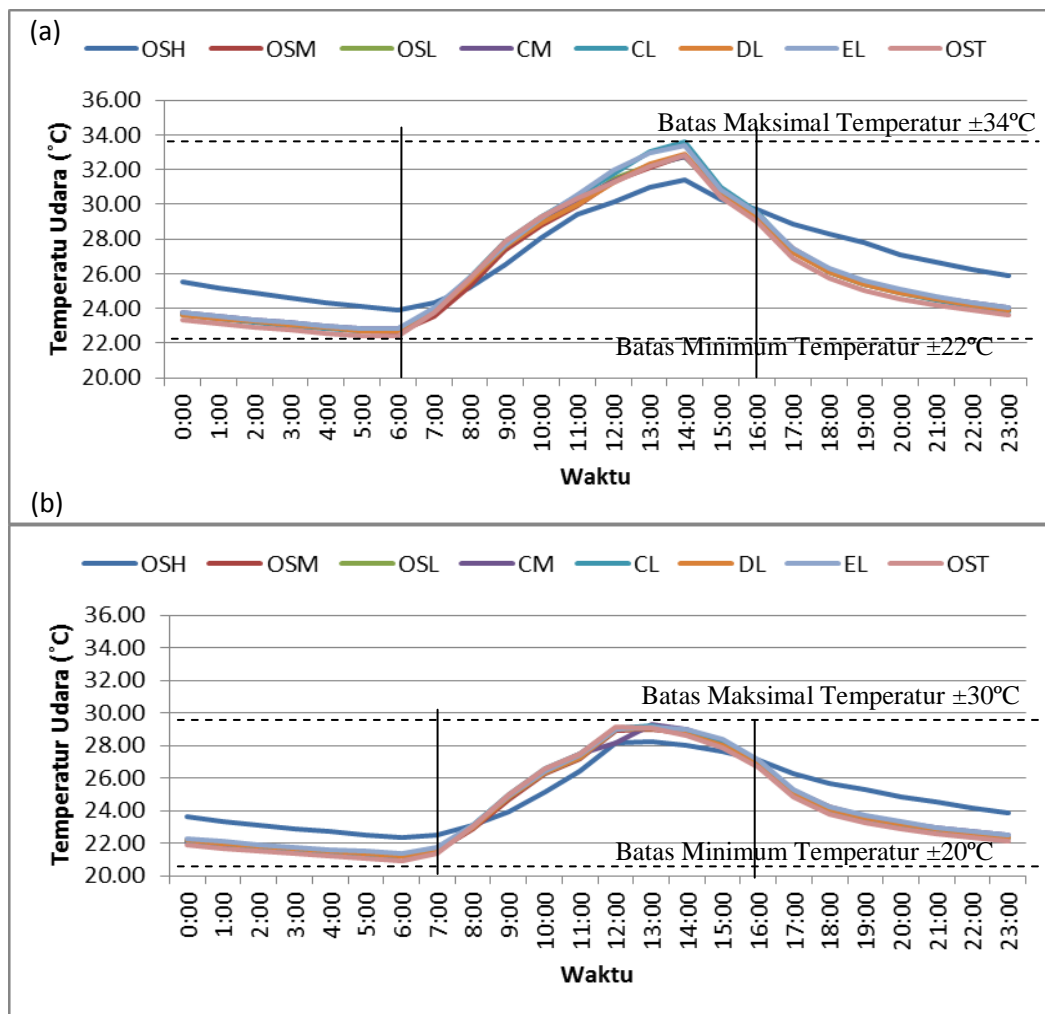
#### **6.2.1. Kondisi Termal di Setiap Tipe Lansekap pada Bulan Terpanas dan Bulan Terdingin**

Secara keseluruhan hasil simulasi kondisi termal di setiap tipe lansekap baik pada bulan terpanas dan terdingin menunjukkan fluktuasi kondisi termal yang sama dengan hasil pengukuran lapangan. Perbedaan terlihat pada temperatur udara rata-rata di setiap tipe lansekap, pada bulan terpanas jauh lebih tinggi 2,50 – 2,82 K dibanding pada bulan terdingin (Gambar 6.2). Begitu juga untuk kondisi kecepatan angin dan intensitas radiasi matahari. Namun, sebaliknya untuk kelembaban udara, pada bulan terpanas kelembaban udara lebih rendah  $\pm 10\%$  dibandingkan pada bulan terdingin.

Hasil simulasi menunjukkan kecenderungan yang hampir sama dengan hasil pengukuran lapangan. Namun, dengan simulasi, lebih jelas parameter desain apa saja yang mempengaruhi kondisi termal di suatu tipe lansekap. Tipe lansekap yang didominasi oleh penutup lahan buatan dibandingkan penutup lahan alami menunjukkan temperatur yang lebih tinggi ( $\pm 31^\circ\text{C}$ ), seperti tipe lansekap CL, DL, EL, OSL dan OSM serta CM. Tipe-tipe lansekap ini merupakan tipe lansekap dengan bangunan bertingkat rendah (*lowrise*) dan menengah (*midrise*) dengan nilai  $H/W \leq 1,6$ . Di mana karakteristik ini mengakibatkan penerimaan radiasi matahari langsung relatif besar dan perolehan pembayangan relatif kecil serta penyimpanan panas pada permukaan penutup lahan relatif besar. Rose (2011) menyatakan bahwa nilai H/W yang rendah mengakibatkan peningkatan temperatur udara.

Tipe lansekap OSH yang merupakan kawasan bangunan bertingkat tinggi (*highrise*) dengan nilai  $H/W = 3$  menunjukkan temperatur yang lebih rendah ( $\pm 30^\circ\text{C}$ ). Rose (2011) menunjukkan bahwa peningkatan aspek ratio bangunan (H/W) /geometri jalan dan persentase area terbangun dapat secara signifikan

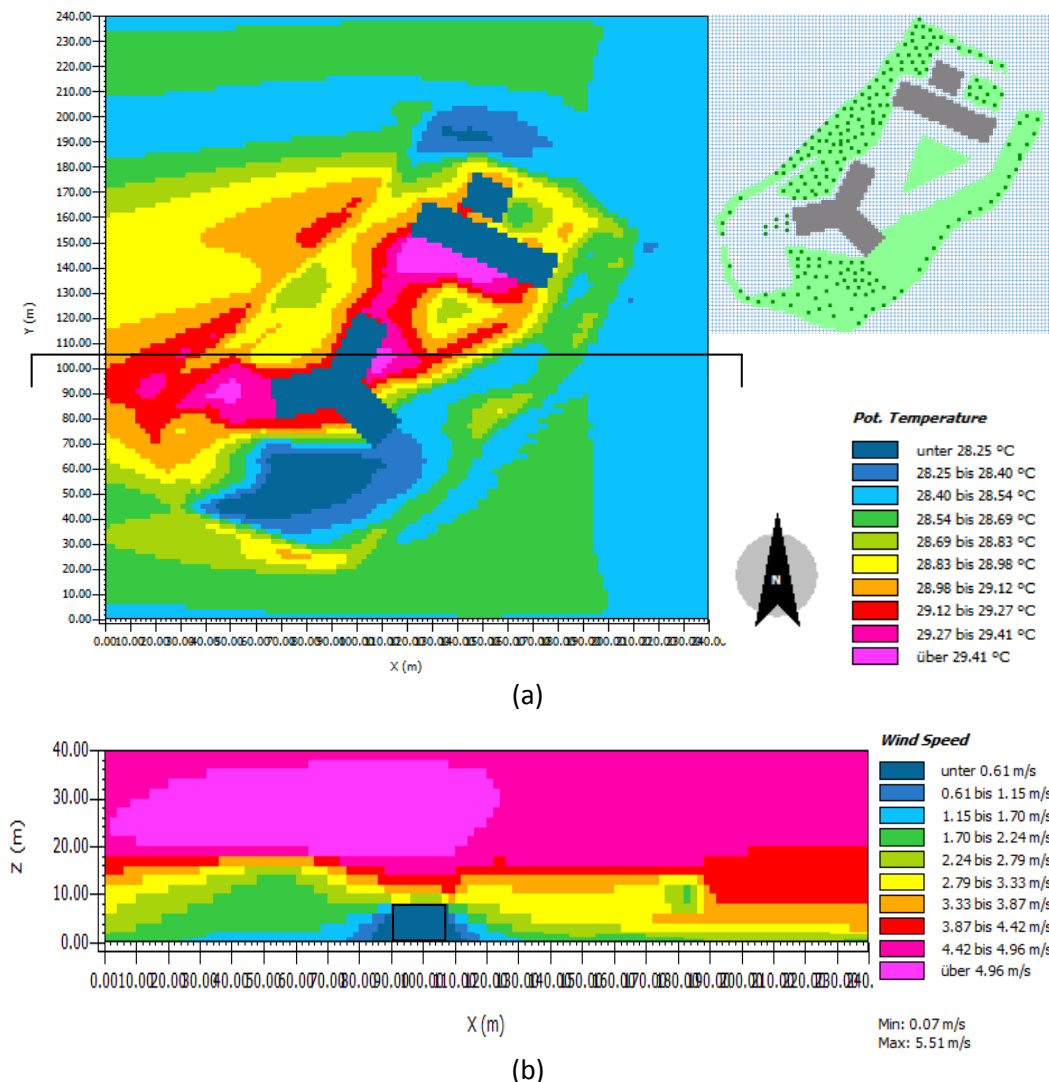
meningkatkan kenyamanan termal. Walaupun tipe lansekap ini berorientasi jalan menghadap Barat-Timur tetap memberikan perolehan pembayangan yang cukup besar, sehingga masih dapat menurunkan temperatur udara. Johansson (2006) untuk menghasilkan pembayangan yang baik pada orientasi Barat-Timur membutuhkan setidaknya  $H/W \geq 4$  dan untuk orientasi Utara-Selatan membutuhkan minimal  $H/W \leq 2$ .



Gambar 6.2 Temperatur udara Hasil Simulasi di Setiap Tipe Lansekap (a) Bulan Terpanas (b) Bulan Terdingin

Tipe OSH yang merupakan kawasan penghijauan, di mana komponen penutup lahan alami lebih mendominasi dibandingkan penutup lahan buatan tetap menunjukkan temperatur udara yang tinggi (31,31°C). Dengan simulasi dapat dijelaskan apa yang menyebabkan di tipe OSH ini dapat menunjukkan temperatur

yang tinggi. Dari hasil lapangan, selain terjadinya pemblokiran angin, ada faktor eksternal berupa frekuensi arus lalu lintas yang padat. Ternyata dari hasil simulasi, peningkatan temperatur udara terjadi karena pola perletakan pohon yang kurang tepat. Penataannya lebih banyak yang berkelompok dibandingkan yang berada di sepanjang jalan. Abreu-Harbich dkk (2015) menjelaskan bahwa perletakan pohon secara individu lebih efektif menurunkan temperatur udara dibandingkan dengan perletakan pohon secara kelompok. Gambar 6.3 menunjukkan sebaran temperatur udara dan potongan kecepatan angin di tipe lansekap OST.



Gambar 6.3 Kondisi Termal di Tipe Lansekap OST Pukul 16:00 pada Bualan Terpanas (a) Temperatur Udara (b) Potongan Kecepatan Angin



Hal ini sama dengan yang terjadi di lapangan, penyebabnya dapat terlihat dari terhalangnya pergerakan angin yang disebabkan oleh perletakan bangunan dan vegetasi. Arah angin cenderung berasal dari arah Timur, sehingga perletakan pohon yang ada di sebelah Barat bangunan cenderung memiliki temperatur udara ( $28,83^{\circ}\text{C}$ ) yang lebih tinggi dibandingkan yang berada di sebelah Timur bangunan ( $28,40^{\circ}\text{C}$ ) (Gambar 6.3). Selain itu, angin tidak dapat menghapus panas yang ada di sebelah Barat. Perletakan pohon yang cukup banyak juga dapat meningkatkan kelembaban udara lebih tinggi  $\pm 5\%$ . Berdasarkan hal ini perlu diperhatikan dalam perletakan vegetasi yang benar, sehingga dapat menurunkan temperatur udara.

Pengaruh parameter desain terhadap kondisi termal di suatu tipe lansekap dapat dijelaskan sebagai berikut :

### **1. Pengaruh Komposisi Lansekap**

Berdasarkan kecenderungan yang terjadi di lapangan, terlihat juga pada hasil simulasi yaitu kecenderungan kemiripan komposisi lansekap berupa proporsi penutup lahan. Tipe lansekap (OSL, OST, DL dan CM) yang memiliki persentase penutup lahan buatan (aspal dan paving) berkisar  $\pm 20\text{-}25\%$  cenderung memiliki temperatur udara yang sama, begitu juga dengan penutup lahan alami (rumput dan tanah). Penutup lahan buatan dan alami tersebut sangat mempengaruhi dalam proses penyerapan dan pelepasan dari jenis permukaan bahan yang sangat mempengaruhi kondisi termal. Nichol dkk (2009) yang menunjukkan terdapatnya hubungan erat antara temperatur permukaan dan temperatur udara terhadap perubahan dan jenis penutup lahan. Namun, ada yang berbeda ketika dipengaruhi penutup lahan berupa pohon, yaitu pada tipe lansekap OST.

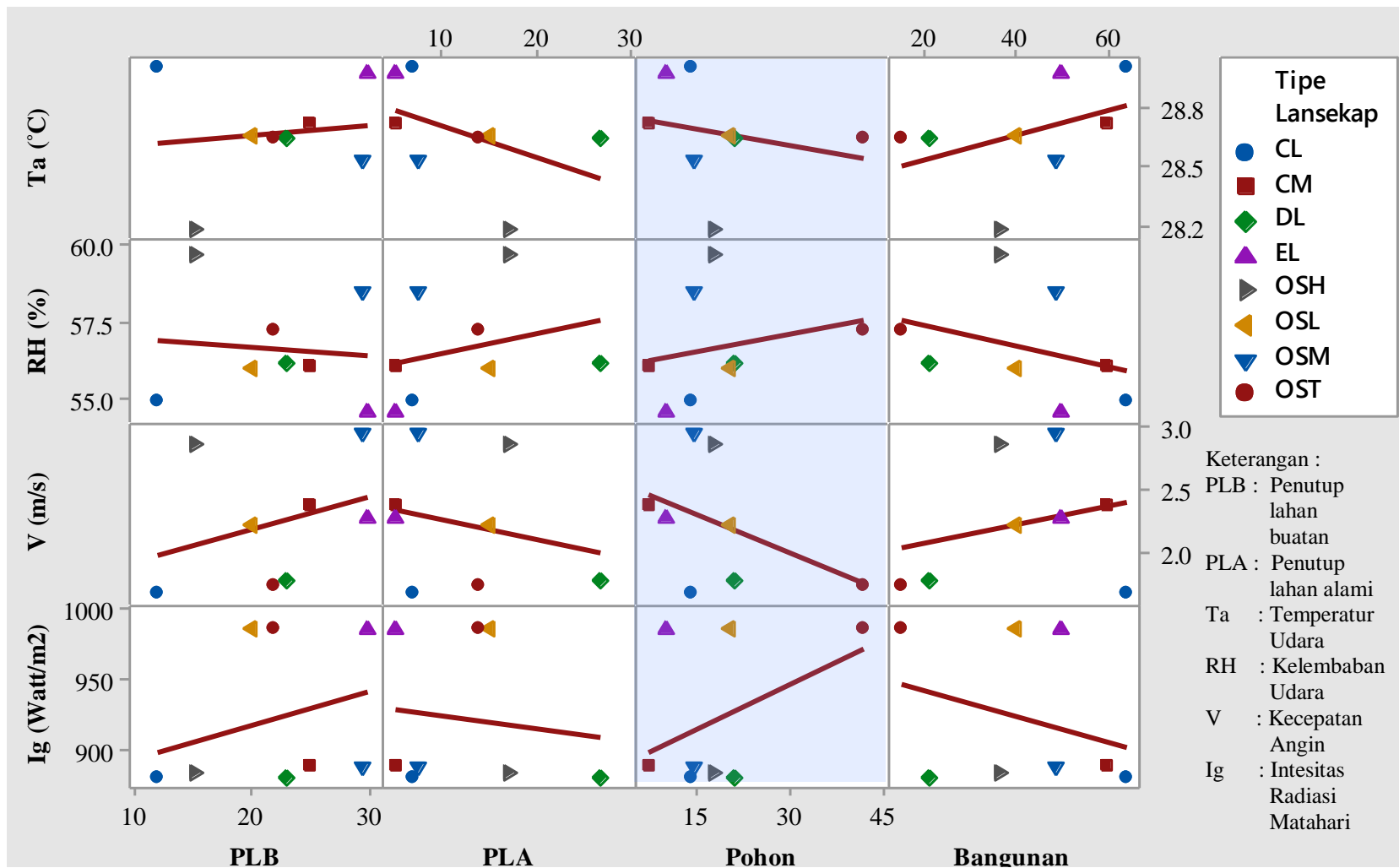
Tipe OST yang merupakan kawasan penghijauan memiliki proporsi pohon paling besar 42% belum menunjukkan temperatur yang paling rendah (Gambar 6.4). Daerah hijau di dalam ruang kota, dapat menciptakan efek pendinginan, menurunkan suhu dan meningkatkan kelembaban relatif (Oke, 1987). Hal ini dipengaruhi oleh penataan perletakan pohon. Ali-Toudert dan Mayer (2007) dan OBI (2014) menjelaskan bahwa vegetasi berpengaruh terhadap kenyamanan termal dalam menurunkan temperatur udara dengan memperhatikan pola tata letak pohon. Seperti yang sudah dijelaskan di atas, perletakan yang tidak tepat dapat menghalangi pergerakan angin, sehingga kecepatan angin menjadi

kecil  $< 1,5$  m/s. Kecilnya kecepatan angin tidak dapat menciptakan kenyamanan termal yang diharapkan.

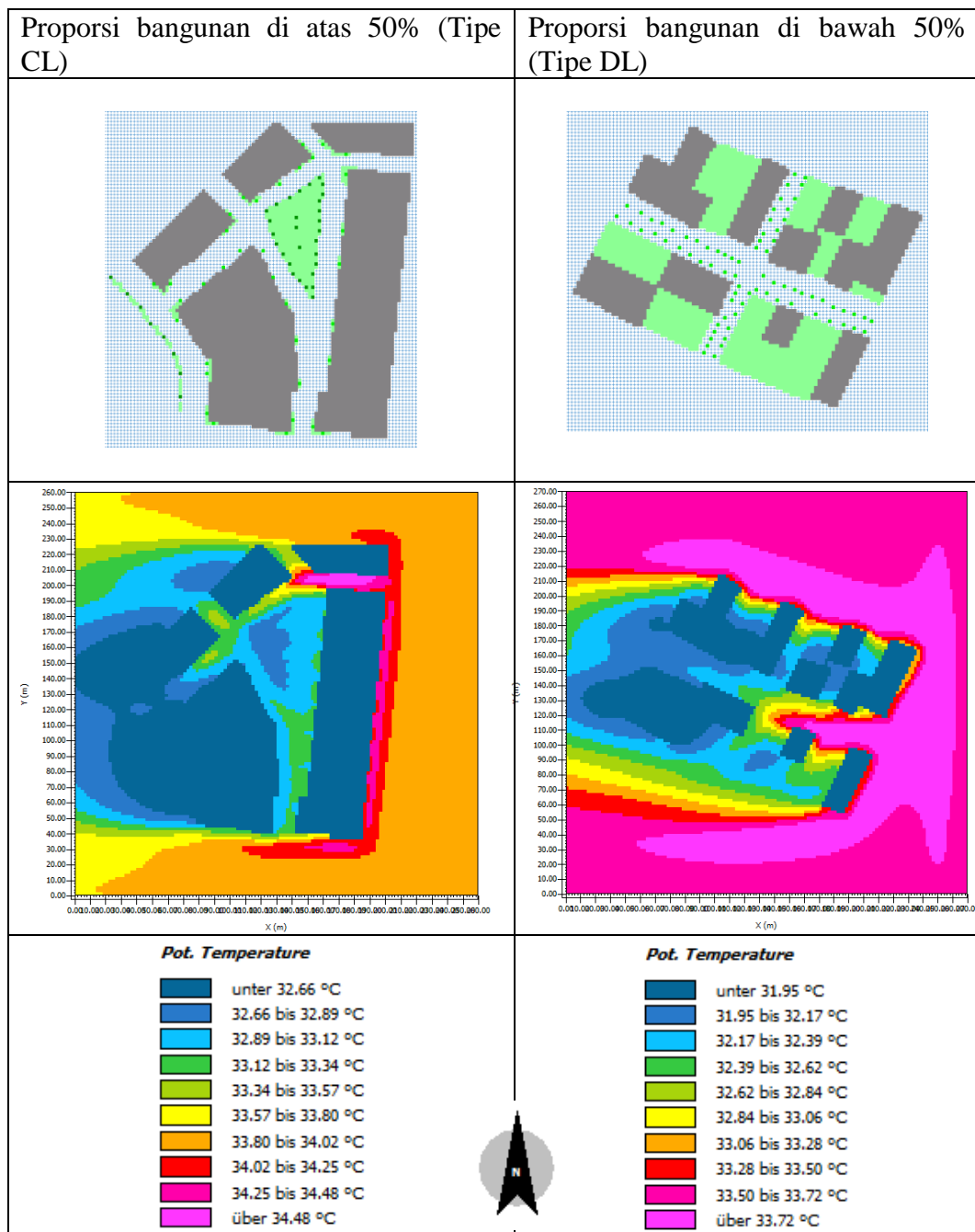
Sebuah pohon dapat mengontrol dalam menurunkan temperatur udara, meningkatkan kelembaban udara, mengontrol pergerakan udara dan mengontrol besarnya radiasi yang diterima (Robinette, 1983). Proporsi pohon yang berkisar  $\pm 10-20\%$  cenderung memiliki temperatur udara yang sama (tipe lansekap CM, OSM, OSL dan DL). Hal ini dipengaruhi, karena perletakan pohon di tipe lansekap lainnya cenderung mengikuti pola jalan, sehingga menguntungkan dalam perolehan kecepatan angin. Sebagaimana Abreu-Harbich dkk (2015) menjelaskan bahwa perletakan pohon secara individu lebih efektif menurunkan temperatur udara dibandingkan dengan perletakan pohon secara kelompok.

Proporsi berupa bangunan dalam satu tipe lansekap akan berpengaruh pada penerimaan radiasi matahari (dapat menghasilkan pembayangan), perolehan kecepatan angin dan penyerapan serta pelepasan panas oleh bangunan. Hal ini terkait dengan nilai H/W dan orientasi. Proporsi bangunan di atas 50% cenderung memiliki temperatur yang lebih tinggi (tipe lansekap EL, CM dan CL) dibandingkan dengan proporsi di bawah 50% (tipe lansekap CM, DL, OSH, OSL) (Gambar 6.5).

Namun, proporsi berupa bangunan ini, tetap perlu memperhatikan konfigurasi dari bangunan itu sendiri, misalnya pola massa bangunan, nilai H/W dan orientasi bangunan. Karena komponen-komponen tersebut sangat berpengaruh pada kondisi termal. Hal ini terkait dengan masing-masing komponen penutup lahan memiliki sifat radiasi dan termal yang mempengaruhi efek albedo dari permukaan penutup lahan. Sebagaimana Andreou (2013) menjelaskan bahwa pengaruh albedo permukaan penutup lahan sangat besar pengaruhnya terhadap jalan yang memiliki nilai H/W kecil. Sementara di jalan dengan nilai H/W yang tinggi pengaruh albedo permukaan sangat kecil dibandingkan pengaruh dari geometri jalan itu sendiri (H/W).



Gambar 6.4 Pengaruh Komposisi Penutup Lahan terhadap Kondisi Termal pada Bulan Terpanas



Gambar 6.5 Temperatur udara di Tipe Lansekap dengan proporsi di atas 50% (seperti Tipe Lansekap CL) dan di bawah 50% (Tipe lansekap DL)

## 2. Pengaruh Orientasi Jalan/Kawasan

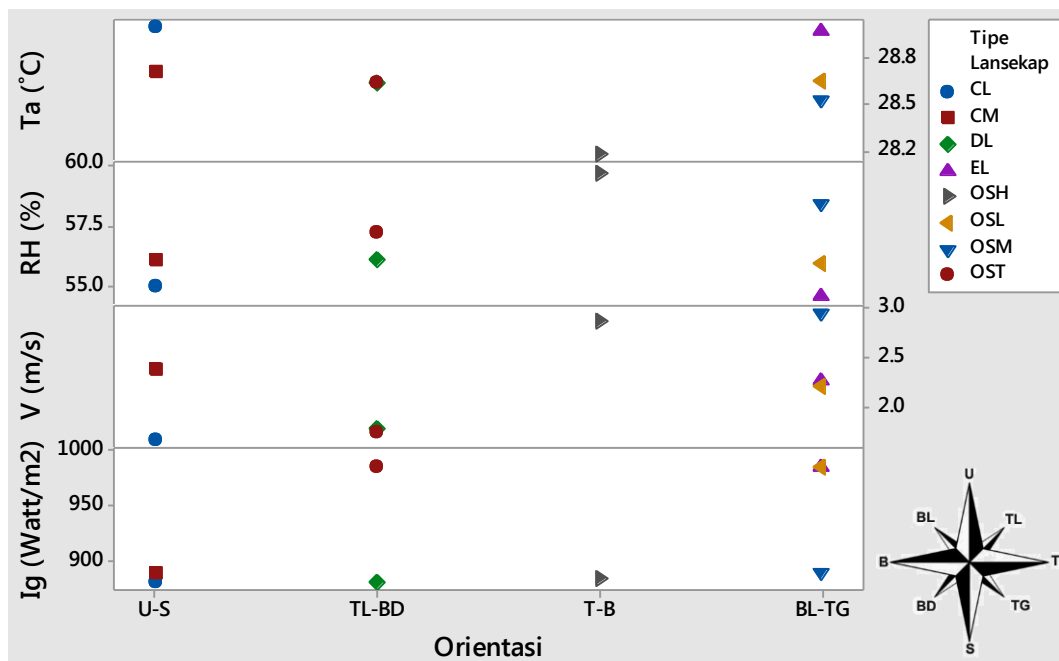
Hasil pengukuran lapangan menunjukkan bahwa orientasi jalan merupakan faktor fundamental dalam memberikan perolehan kecepatan angin dan persentase pembayangan. Namun, tidak terlepas dari pengaruh rasio H/W. Hasil simulasi menunjukkan bahwa untuk orientasi Utara –Selatan tipe lansekap CM

(28,72 °C) dan CL (29,00 °C) belum menunjukkan temperatur udara yang lebih rendah, walaupun orientasi ini menguntungkan dalam perolehan pembayangan. Namun rasio H/W yang ada tidak cukup untuk menghasilkan persentase pembayangan yang lebih luas dan kecilnya perolehan kecepatan angin.

Berbeda dengan tipe OSH yang berorientasi menghadap Barat – Timur. Tipe OSH ini memiliki nilai H/W 3 dan ada pohon di sepanjang jalan sehingga tetap menguntungkan dalam perolehan persentase pembayangan dan kecepatan angin, sehingga dapat menjadikan temperatur udara lebih rendah (28.18 °C ) dibandingkan tipe lainnya (Gambar 6.6). Sementara Shashua-Bar (2004) menjelaskan bahwa orientasi jalan Utara-Selatan dengan adanya pohon dapat menurunkan temperatur udara dibandingkan orientasi jalan Barat-timur. Namun pengaruh orientasi jalan ini tetap memperhatikan nilai H/W, dimana nilai H/W yang tinggi menunjukkan lebih baik dari pada nilai H/W yang rendah. Sebagaimana Johansson (2006) menjelaskan untuk menghasilkan pembayangan yang baik pada orientasi Barat-Timur membutuhkan setidaknya  $H/W \geq 4$  dan untuk orientasi Utara-Selatan membutuhkan minimal  $H/W \leq 2$ .

Orientasi jalan/kawasan ini berkaitan dengan pola massa bangunan dalam perolehan kecepatan angin, dimana dapat menyebabkan terjadinya pembelokan dan perubahan kecepatan angin di lingkungan ruang luar. Boutet (1987) menjelaskan bahwa potensi terbesar untuk aliran udara yang optimum adalah ketika bangunan diletakkan dengan sudut 45° (diagonal) terhadap arah datang angin. Seperti di tipe OSM, OSL Dan EL cenderung memiliki kecepatan angin yang tinggi di atas  $\pm 2\text{m/s}$  (Gambar 6.6). Namun, tipe lansekap ini tidak hanya terdiri dari bangunan, melainkan juga ada pohon. Dimana keberadaan pohon juga dapat menguntungkan atau mengurangi kecepatan angin.

Dapat disimpulkan bahwa hasil simulasi ini menunjukkan bahwa pengaruh orientasi jalan sangat signifikan terhadap penerimaan radiasi matahari dan kecepatan angin. Namun, tetap memperhatikan nilai H/W dari koridor jalan terkait dalam perolehan pembayangan sebagai salah satu yang dapat menurunkan temperatur udara dan perolehan kecepatan angin sebagai efek pendinginan di suatu tipe lansekap.

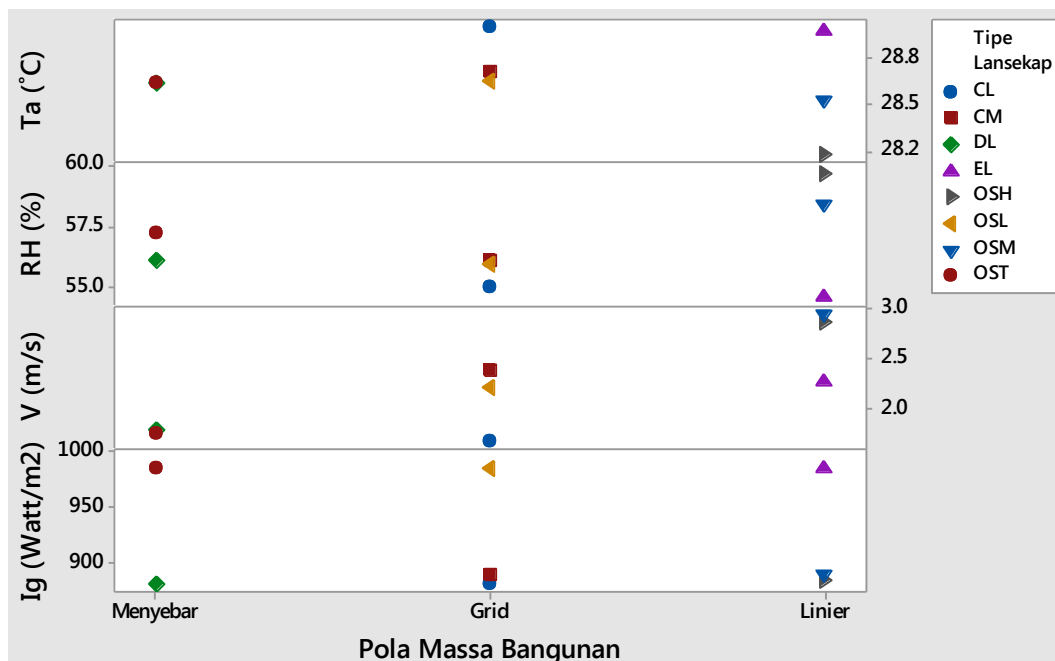


Gambar 6.6 Pengaruh Orientasi Jalan terhadap Temperatur Udara, Kelembaban Udara, Kecepatan Angin dan Intensitas Radiasi Matahari pada Bulan Terpanas

### 3. Pengaruh Pola Massa Bangunan

Berdasarkan hasil analisa pengukuran lapangan, pola penataan massa bangunan memiliki hubungan dengan orientasi yang dapat mempengaruhi durasi penerimaan intensitas radiasi matahari (kaitannya juga dengan pembayangan) sehingga dapat meningkatkan temperatur dan kelembaban udara. Taleghani (2014) menjelaskan bahwa *urban form* mempengaruhi durasi intensitas radiasi matahari. Selain itu juga mempengaruhi pola aliran udara (Boutet, 1987).

Tipe CL dengan pola massa bangunan yang tersusun tegak lurus terhadap arah angin akan menghalangi aliran udara terhadap bangunan yang ada di belakangnya, sehingga kecepatan angin yang diperoleh kecil (Gambar 6.7). Sementara bangunan yang berada sejajar dengan arah angin lebih optimal dalam distribusi aliran udara (Tipe OSH). Tipe DL dan OST yang memiliki pola massa bangunan yang menyebar cenderung tidak menyalurkan udara ke bangunan yang ada di belakangnya secara maksimal, namun lebih banyak membentuk daerah pembayangan angin, sehingga kurang optimal dalam mendinginkan kawasan (Boutet, 1987).



Gambar 6.7 Pengaruh Pola Massa Bangunan terhadap Temperatur Udara, Kelembaban Udara, Kecepatan Angin dan Intensitas Radiasi Matahari pada Bulan Terpanas

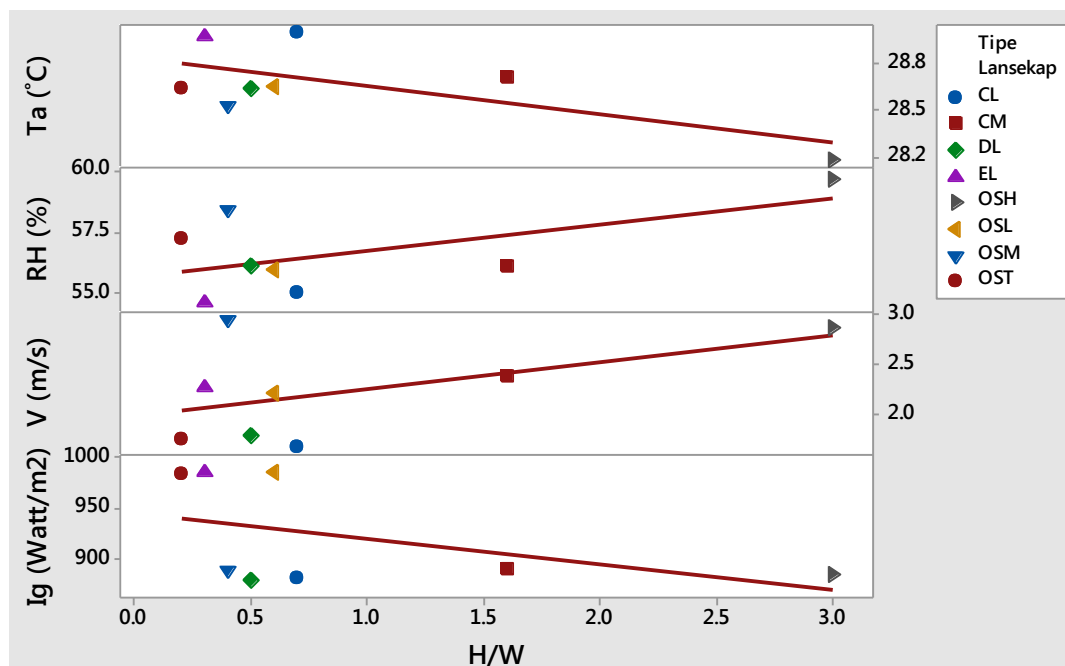
Taleghani (2015) menjelaskan durasi intensitas radiasi matahari langsung dipengaruhi oleh *urban form*. Untuk bentuk bangunan singular dengan orientasi apapun akan terkena matahari langsung selama 12 jam, bentuk linier dengan orientasi Timur – Barat akan menerima radiasi selama 12 jam, sementara untuk bangunan linier dengan orientasi Utara – Selatan akan menerima radiasi selama 4 jam. Namun, pola massa bangunan berkaitan dengan penerimaan radiasi matahari, tidak terlepas dari nilai H/W. Tipe OSL dan EL yang dengan pola massa bangunan berupa grid menerima radiasi matahari sepanjang hari, karena bangunan tersebut memiliki nilai  $H/W < 1$ . Berbeda dengan tipe OSH, tipe ini karena memiliki nilai  $H/W > 3$ , menerima radiasi matahari tidak sepanjang hari, karena nilai  $H/W$  yang tinggi dapat menguntungkan dalam perolehan pembayangan. Hal ini yang menyebabkan salah satu di tipe lansekap OSH dapat menurunkan temperatur 1,8 K dibandingkan tipe lansekap lainnya.

Dengan demikian pola massa massa bangunan ini karena sangat erat hubungannya dengan orientasi, sehingga dapat disimpulkan bahwa pola mssa bangunan ini memiliki pengaruh yang sama dengan orientasi terhadap kondisi

termal yaitu menentukan penerimaan radiasi matahari dan perolehan kecepatan angin. Namun nilai H/W masih harus diperhatikan.

#### 4. Pengaruh Perbandingan Nilai H/W

Hasil analisa pengukuran lapangan dan penjelasan sebelumnya menunjukkan bahwa nilai H/W ini sangat signifikan hubungannya dengan parameter desain lainnya seperti komponen penutup lahan, orientasi jalan dan pola massa bangunan untuk mempengaruhi kondisi termal. Hal ini terlihat pengaruhnya terhadap penerimaan radiasi matahari (pengaruh pada peningkatan dan penurunan temperatur udara) dan perolehan kecepatan angin (pengaruh terhadap efek pendinginan). Gambar 6.8 menunjukkan bahwa peningkatan nilai H/W di atas 1 baru menunjukkan dapat menurunkan temperatur udara (tipe lansekap CM dan OSH). Sementara untuk nilai  $H/W < 1$  masih ada tipe lansekap menunjukkan temperatur udara lebih tinggi (tipe lansekap CL dan EL).



Gambar 6.8 Pengaruh Nilai H/W terhadap terhadap Temperatur Udara, Kelembaban Udara, Kecepatan Angin dan Intensitas Radiasi Matahari pada Bulan Terpanas

Kondisi dalam kaitannya dengan nilai H/W perlu diperiksa kembali parameter desain lainnya. Seperti yang terlihat pada tipe-tipe lansekap OSM,



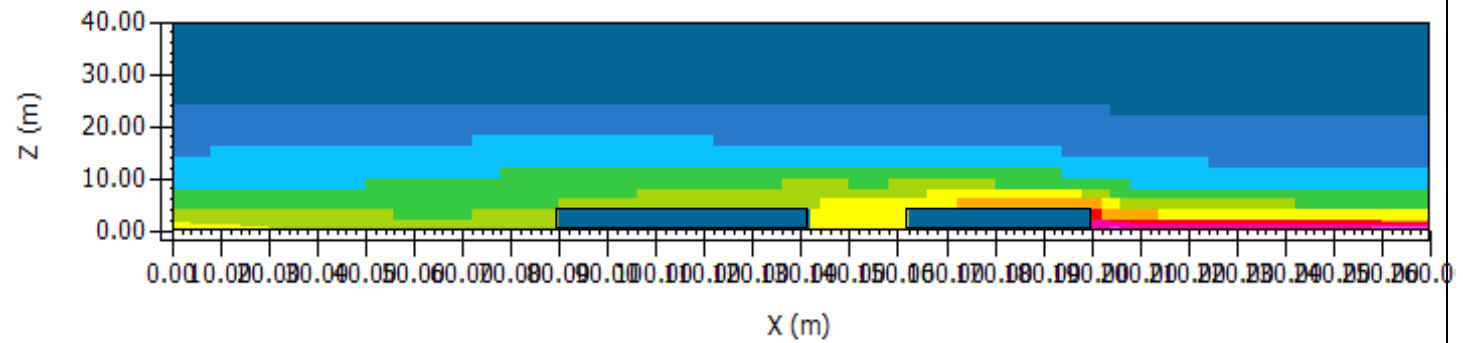
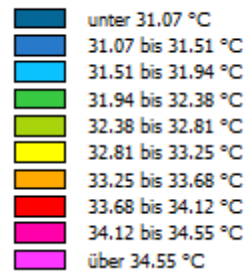
OSL, OST dan DL. Tipe-tipe ini memiliki karakteristik lansekap dengan orientasi diagonal (Barat Laut - Tenggara dan Timur Laut – Barat Daya) yang sangat menguntungkan dalam perolehan pembayangan dan kecepatan angin. Selain itu, di tipe-tipe ini juga memiliki proporsi penutup lahan alami berkisar 20 - 30%. Hal ini juga yang dapat menurunkan temperatur udara. Namun yang terlihat jelas dengan adanya peningkatan nilai H/W dapat menurunkan penerimaan intensitas radiasi matahari, hal ini terkait dalam perolehan persentase pembayangan.

Sejalan dengan Ahmed (2003) Emmanuel dan Johansson (2006) yang menemukan penurunan temperatur udara di daerah panas lembab, ketika adanya peningkatan nilai H/W dengan berkurangnya penerimaan radiasi matahari. Kemudian Ahmed (2003) juga menjelaskan tentang kecepatan angin yang tinggi di koridor jalan dengan nilai H/W yang tinggi. Kecepatan angin secara signifikan dapat meningkatkan ambang batas dari kelembaban, namun tidak untuk temperatur udara. Artinya kecepatan angin sangat berkontribusi terhadap penerimaan kelembaban udara yang cukup tinggi, tetapi tidak untuk temperatur udara.

Hal ini terjadi di tipe lansekap CM dan OSH dengan nilai H/W yang tinggi. Di tipe ini penerimaan radiasi cukup berkurang, nilai kelembaban udara cukup tinggi, namun karena ada kecepatan angin yang tinggi, sehingga di tipe ini bisa menunjukkan kondisi termal yang baik dibanding tipe lansekap lainnya dengan temperatur udara yang lebih rendah. Gambar 6.9 menunjukkan perbedaan temperatur udara di tipe lansekap yang mewakili nilai  $H/W < 1$  (*lowrise*),  $H/W 1-2$  (*midrise*) dan  $H/W 3$  (*highrise*). Peningkatan setiap nilai  $H/W = 1$  dapat menurunkan temperatur udara 1,28 – 1,75 K, sedangkan peningkatan nilai H/W dari 0,4 – 3 dapat menurunkan temperatur udara maksimum 2,23 K. Ahmed dalam Jamei dkk (2016) menjelaskan pengurangan 4,5K temperatur udara maksimum dengan meningkatkan nilai H/W 0,3-2,8 di daerah panas lembab Dhaka-Bangladesh.

H/W < 1 (*lowrise*)  
(Tipe Lansekap CL)

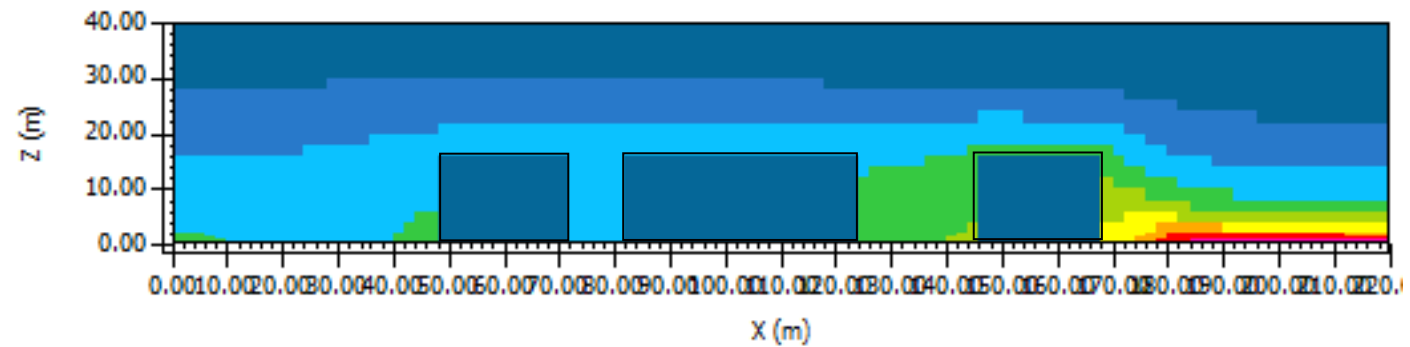
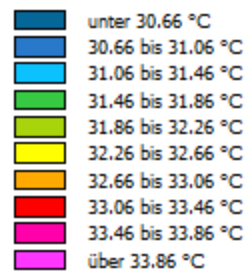
**Pot. Temperature**



Temperatur udara di koridor jalan menunjukkan 32,81°C

H/W 1-2 (*midrise*)  
(Tipe Lansekap CM)

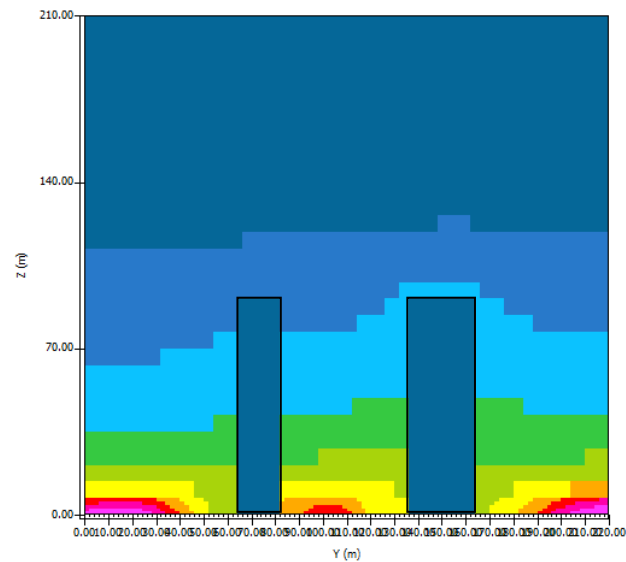
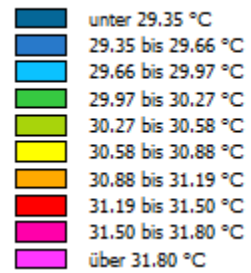
**Pot. Temperature**



Temperatur udara di koridor jalan menunjukkan 31,06°C dan 31,86°C

H/W 3 (*highrise*).  
(Tipe Lansekap  
OSH)

**Pot. Temperature**

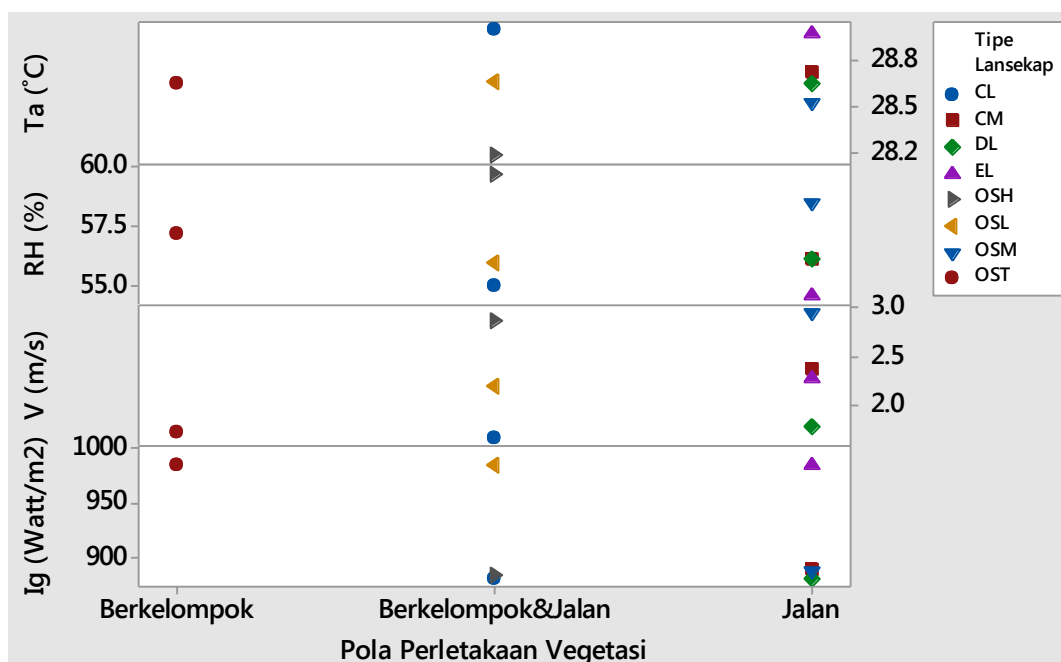


Temperatur udara di koridor jalan menunjukkan 30,58°C

Gambar 6.9 Perbedaan Temperatur Udara di Tipe Lansekap yang Mewakili Nilai H/W < 1 (*Lowrise*), H/W 1-2 (*Midrise*) Dan H/W 3 (*Highrise*).

## 5. Pengaruh Pola Penataan Vegetasi

Seperti yang sudah dijelaskan pada pengaruh lahan buatan alami berupa pohon, perlu memperhatikan penataan pohon yang tepat, sehingga dapat menurunkan temperatur udara. Pola penataan pohon terdiri dari berkelompok, berkelompok dan di sepanjang jalan serta hanya di sepanjang jalan saja (penjelasannya ada di bab 4 dan 5). Gambar 6.10 menunjukkan bahwa penataan pohon yang tepat yaitu dengan cara pola penataan pohon memusat (berupa taman-taman kecil) dan di sepanjang jalan, namun tetap memperhatikan proporsi dari pohon tersebut. Dengan cara ini dapat menurunkan temperatur udara, penerimaan intensitas radiasi matahari relatif kecil dan dapat meningkatkan kecepatan angin. Abreu-Harbach dkk (2015) menjelaskan bahwa perletakan pohon secara individu di sepanjang jalan lebih efektif menurunkan temperatur udara dibandingkan dengan perletakan pohon secara kelompok. Namun, untuk dapat meningkatkan efek pendinginan, pohon cluster (berkelompok) lebih baik dari satu pohon dengan catatan harus bisa menghasilkan pembayangan yang luas.



Gambar 6.10 Pengaruh Pola Penataan Vegetasi terhadap Temperatur Udara, Kelembaban Udara, Kecepatan Angin dan Intensitas Radiasi Matahari pada Bulan Terpanas

Hal ini terlihat di tipe lansekap OSH. Tipe lansekap OSH memiliki karakteristik orientasi jalan menghadap Barat – Timur, sehingga perletakan pohon

yang ada di sepanjang jalan tersebut lebih menguntungkan dalam menurunkan temperatur udara dibandingkan dengan perletakan pohon yang ada di sepanjang jalan menghadap orientasi Utara – Selatan. Pohon yang ada dapat menghalangi penerimaan radiasi matahari secara langsung, karena di orientasi Barat - Timur penerimaan pancaran sinar matahari cukup besar. Sejalan dengan penelitian Andreou (2013) yang menjelaskan pohon di jalan orientasi Barat – Timur lebih banyak pengaruh terhadap peningkatan kenyamanan termal, dibandingkan pohon di orientasi Utara – Selatan, karena kondisi kenyamanan termal di orientasi Utara – Selatan sudah nyaman.

Gambar 6.11 menunjukkan perbedaan penerimaan radiasi matahari yang terhalangi oleh pohon yang berada di orientasi Barat – Timur, Utara – Selatan dan Barat Laut – Tenggara (diagonal) yang diwakili oleh tipe lansekap OSH, CL dan OSL. Penerimaan radiasi yang terhalangi pohon di orientasi Barat Laut – Tenggara menunjukkan radiasi matahari yang paling kecil dibandingkan orientasi Barat – Timur dan Utara – Selatan. Walaupun dengan perbedaan yang sangat kecil  $\pm 3 \text{ Watt/m}^2$ , tapi terlihat dengan perbedaan temperatur yang berbeda di ketiga lansekap tersebut dan proporsi dari penutup lahan terutama dari pohon di setiap tipe lansekapnya. Di mana pohon memiliki peranan dan kontrol dalam memberikan efek pendinginan dalam suatu tipe lansekap dengan penataan yang tepat. Seperti yang di tipe lansekap OST dengan penataan yang kurang tepat (sudah dijelaskan pada hasil lapangan dan awal bab 6), pohon tidak menunjukkan peranan sebagai yang dapat memberikan efek pendinginan.

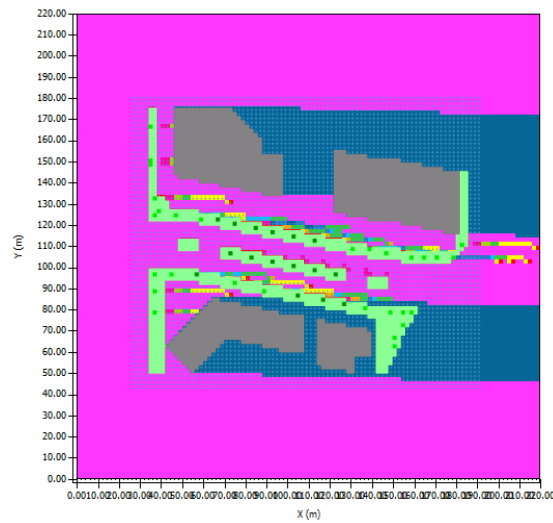
Namun, tidak terlepas dari karakteristik pohon itu sendiri, seperti memiliki lebar kanopi yang besar, tingkat kerapatan daun yang lebat dan tinggi pohon. Karakteristik dari satu pohon akan berpengaruh terhadap penerimaan intensitas radiasi matahari (untuk dapat menciptakan pembayangan), meningkatkan kelembaban udara dan mempengaruhi pergerakan aliran udara. Sebagaimana Shashua-Bar, 2009; Abreu-Harbich 2012 menjelaskan bahwa karakteristik pohon seperti struktur dan kepadatan puncak pohon, ukuran, bentuk, warna daun dan usia pertumbuhan pohon dapat mempengaruhi kinerja radiasi matahari yang dihalangi oleh kanopi pohon, temperatur udara dan kelembaban udara.

### Orientasi Barat – Timur (Tipe Lansekap OSH)

#### Direct Sw Radiation

■	unter 57.83 W/m <sup>2</sup>
■	57.83 bis 115.66 W/m <sup>2</sup>
■	115.66 bis 173.49 W/m <sup>2</sup>
■	173.49 bis 231.32 W/m <sup>2</sup>
■	231.32 bis 289.15 W/m <sup>2</sup>
■	289.15 bis 346.98 W/m <sup>2</sup>
■	346.98 bis 404.81 W/m <sup>2</sup>
■	404.81 bis 462.64 W/m <sup>2</sup>
■	462.64 bis 520.47 W/m <sup>2</sup>
■	über 520.47 W/m <sup>2</sup>

Min: 0.00 W/m<sup>2</sup>  
Max: 578.30 W/m<sup>2</sup>

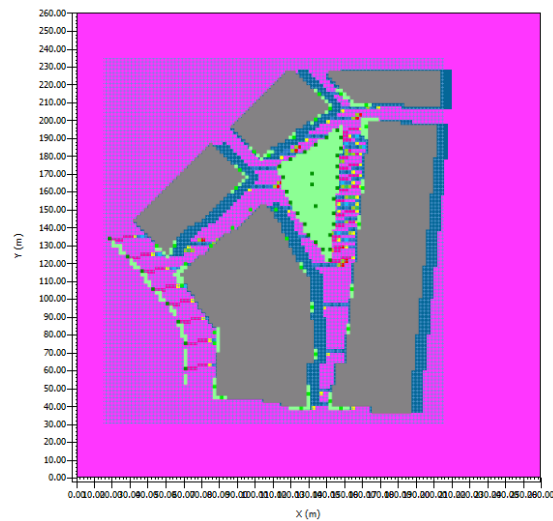


### Orientasi Utara – Selatan (Tipe Lansekap CL)

#### Direct Sw Radiation

■	unter 59.28 W/m <sup>2</sup>
■	59.28 bis 118.55 W/m <sup>2</sup>
■	118.55 bis 177.83 W/m <sup>2</sup>
■	177.83 bis 237.11 W/m <sup>2</sup>
■	237.11 bis 296.38 W/m <sup>2</sup>
■	296.38 bis 355.66 W/m <sup>2</sup>
■	355.66 bis 414.94 W/m <sup>2</sup>
■	414.94 bis 474.21 W/m <sup>2</sup>
■	474.21 bis 533.49 W/m <sup>2</sup>
■	über 533.49 W/m <sup>2</sup>

Min: 0.00 W/m<sup>2</sup>  
Max: 592.77 W/m<sup>2</sup>

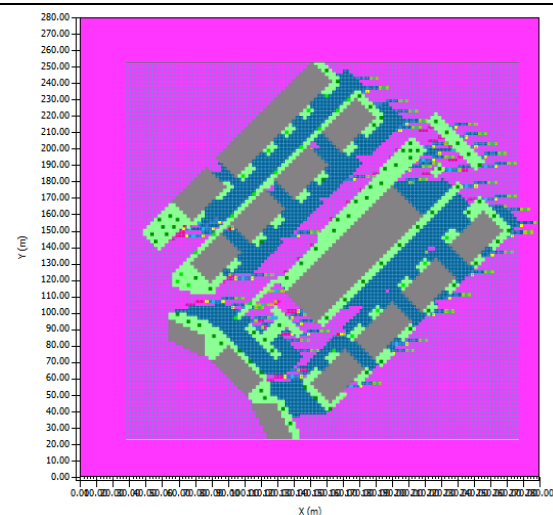


### Orientasi Barat Laut – Tenggara (Tipe Lansekap OSL)

#### Direct Sw Radiation

■	unter 57.68 W/m <sup>2</sup>
■	57.68 bis 115.36 W/m <sup>2</sup>
■	115.36 bis 173.04 W/m <sup>2</sup>
■	173.04 bis 230.71 W/m <sup>2</sup>
■	230.71 bis 288.39 W/m <sup>2</sup>
■	288.39 bis 346.07 W/m <sup>2</sup>
■	346.07 bis 403.75 W/m <sup>2</sup>
■	403.75 bis 461.43 W/m <sup>2</sup>
■	461.43 bis 519.11 W/m <sup>2</sup>
■	über 519.11 W/m <sup>2</sup>

Min: 0.00 W/m<sup>2</sup>  
Max: 576.78 W/m<sup>2</sup>



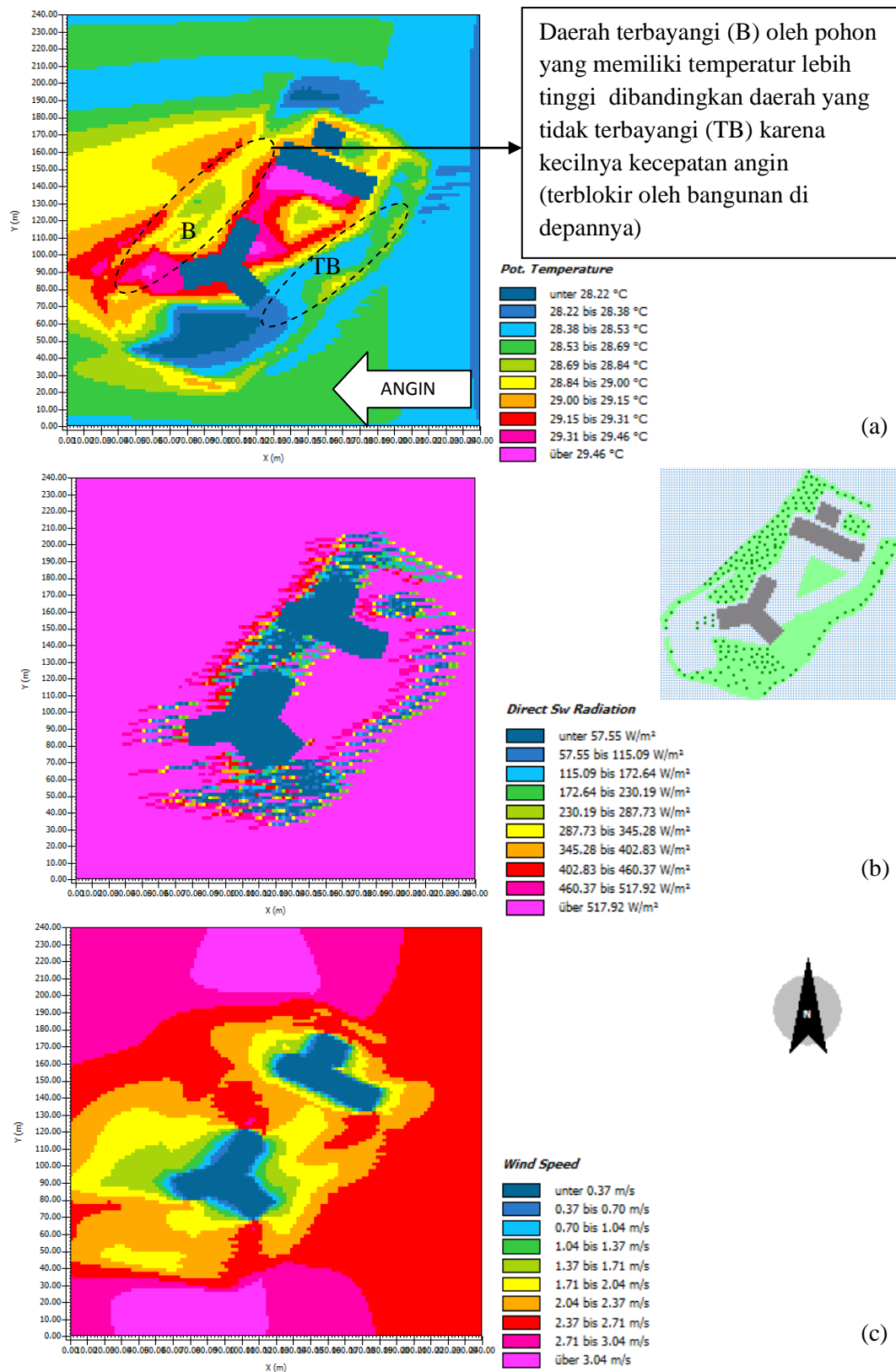
Gambar 6.11 Penerimaan Radiasi Matahari yang terhalangi Pohon di orientasi B-T (tipe OSH), U-S (Tipe CL) dan BL-TG (Tipe OSL)

## 6. Pengaruh Pembayangan

Berdasarkan hasil analisa di lapangan dan beberapa penjelasan di atas , untuk menghasilkan pembayangan yang tepat dari bangunan dan pohon, selain proporsi dari penutup lahan itu sendiri perlu juga mempertimbangkan parameter desain konfigurasi lansekap berupa orientasi jalan, nilai rasio H/W, pola massa bangunan dan pola penataan vegetasi. Hal ini terkait, tidak selamanya pada daerah yang terbayangi memiliki temperatur yang lebih rendah dibandingkan pada daerah yang tidak terbayangi. Seperti yang terjadi di tipe lansekap OST. Peningkatan temperatur yang terjadi pada daerah yang terbayangi akibat pola massa bangunan dan pola penataan vegetasi yang tidak tepat, sehingga terjadi adanya pemblokiran arah angin oleh penutup lahan berupa bangunan dan pohon (Gambar 6.12).

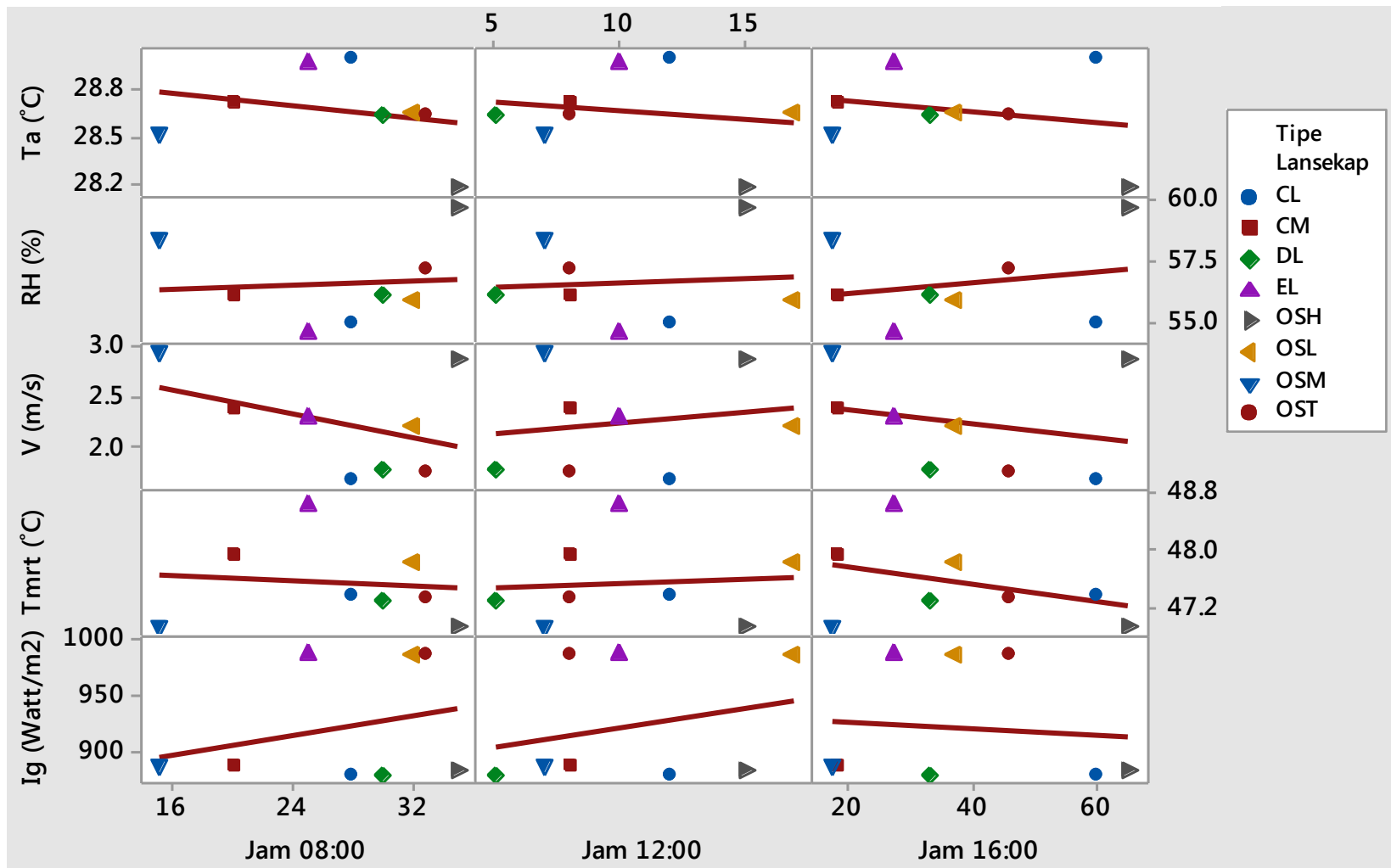
Persentase pembayangan yang luas terlihat pada sore hari yaitu pukul 16:00. Tipe-tipe lansekap OST, CL dan OSH cenderung memiliki persentase pembayangan dengan luas lebih dari 50% (Gambar 6.13). Tipe OST memiliki proporsi pohon yang cukup luas (42%) sehingga cukup luas menghasilkan pembayangan, tipe CL berorientasi Utara – Selatan dengan proporsi bangunan 64% dengan nilai H/W 0,7 dan memiliki proporsi pohon masih menguntungkan dalam perolehan pembayangan.

Namun, dengan persentase pembayangan yang luas belum tentu dapat menurunkan temperatur udara, karena perlu memperhatikan parameter lainnya, seperti penataan massa bangunan (kaitannya dengan orientasi dan nilai H/W) dan penataan vegetasi. Hal ini akan berpengaruh pada elemen iklim lainnya yang mempengaruhi kondisi termal. Berbeda dengan tipe OSH walaupun berorientasi Barat – Timur, tapi karena memiliki nilai H/W yang tinggi ( $H/W=3$ ) dan proporsi pohon 17,6% masih menguntungkan dalam perolehan pembayangan yang cukup luas, sehingga dapat menurunkan temperatur udara. Sebagaimana Emmanuel dkk (2007) menjelaskan bahwa bayangan perkotaan (*urban shading*) di jalan merupakan fungsi dari orientasi jalan dan perbandingan nilai H/W. Di mana peningkatan pembayangan baik dari bangunan (nilai H/W) dan banyaknya pohon mampu menurunkan temperatur udara.



Gambar 6.12 Kondisi Termal pada Daerah Terbayangi dan Tidak Terbayangi di Tipe Lansekap OST (a) Temperatur Udara (b) Intensitas Radiasi Matahari (c) Kecepatan Angin





Gambar 6.13 Pengaruh Persentase Pembayaran dari bangunan dan pohon terhadap Kondisi Termal pada Bulan Terpanas

Berdasarkan analisa di atas dapat disimpulkan bahwa pengaruh pembayangan terhadap kondisi termal akan berpengaruh positif jika bangunan dan pohon sebagai komponen penutup lahan yang dapat menghasilkan pembayangan terletak pada penataan massa bangunan yang tepat yaitu pada orientasi jalan Utara – Selatan dengan nilai H/W yang tinggi dan orientasi Barat – Timur dengan nilai H/W yang lebih tinggi sehingga dapat menghasilkan persentase pembayangan yang luas. Begitu juga dengan pohon (sudah dijelaskan pada bagian pengaruh perletakan vegetasi).

## **7. Kesimpulan dan Diskusi Kondisi Lingkungan Termal di Suatu Lansekap Hasil Simulasi**

Hasil analisa dari simulasi ini mempertegas dan memperkuat analisa hasil pengukuran lapangan, yaitu bahwa komposisi lansekap dan konfigurasi lansekap tidak secara terpisah mempengaruhi kondisi termal di suatu tipe lansekap. Maksudnya ada variabel atau parameter desain tertentu yang lebih dominan mempengaruhi kondisi termal. Selain itu juga, dari hasil pengukuran lapangan masih memperkirakan adanya faktor eksternal berupa frekuensi arus lalu lintas, namun dari hasil analisa simulasi sudah jelas apa saja faktor yang mempengaruhi kondisi termal di suatu lansekap. Hasil analisa simulasi dapat disimpulkan bahwa yang paling signifikan mempengaruhi kondisi termal adalah konfigurasi lansekap dibandingkan komposisi lansekap. Hal ini didukung dengan penelitian Du, Shihong dkk (2016) yang menunjukkan bahwa konfigurasi lansekap lebih mempengaruhi dibandingkan komposisi lansekap terhadap temperatur permukaan penutup lahan. Dimana secara tidak langsung temperatur permukaan penutup lahan juga akan mempengaruhi kondisi termal.

Konfigurasi lansekap merupakan karakteristik spasial, pengaturan, posisi dan kompleksitas penutup lahan dari suatu lansekap. Konfigurasi yang sangat mempengaruhi kondisi termal adalah orientasi jalan dan nilai H/W. Dua parameter tersebut sangat berperan dalam mengontrol penerimaan radiasi matahari (kaitan dalam perolehan pembayangan) dan perolehan kecepatan angin. Sementara pola massa bangunan juga perlu memperhatikan orientasi dan nilai H/W dalam penerimaan radiasi matahari dan kecepatan angin. Begitu juga dengan penataan

vegetasi, perlu juga memperhatikan orientasi. Johansson (2006) dan Emmanuel dkk (2007) menjelaskan bahwa untuk menciptakan kenyamanan termal ruang luar dipengaruhi oleh orientasi dan nilai H/W. Namun, konfigurasi lansekap tersebut juga di tentukan oleh komposisi lansekap.

Komposisi lansekap merupakan proporsi dari penutup lahan yang ada di suatu tipe lansekap. Di mana proporsi penutup lahan sangat mempengaruhi proses penyerapan dan pelepasan panas oleh bahan dari penutup lahan tersebut. Hal ini terkait dengan albedo permukaan dari masing-masing penutup lahan yang sangat mempengaruhi kondisi termal. Albedo permukaan penutup lahan mempengaruhi kondisi termal juga memperhatikan nilai H/W. Pengaruh albedo permukaan sangat besar pada nilai H/W kecil, karena penerimaan intensitas radiasi matahari langsung terhadap permukaan penutup lahan (lebih banyak). Sementara pada nilai H/W yang tinggi, pengaruh albedo ini sangat kecil, karena sedikitnya radiasi matahari yang langsung mengenai permukaan penutup lahan. Andreou (2013) menjelaskan bahwa pengaruh albedo permukaan penutup lahan sangat besar pengaruhnya terhadap jalan yang memiliki nilai H/W rendah dibandingkan dengan nilai H/W yang tinggi.

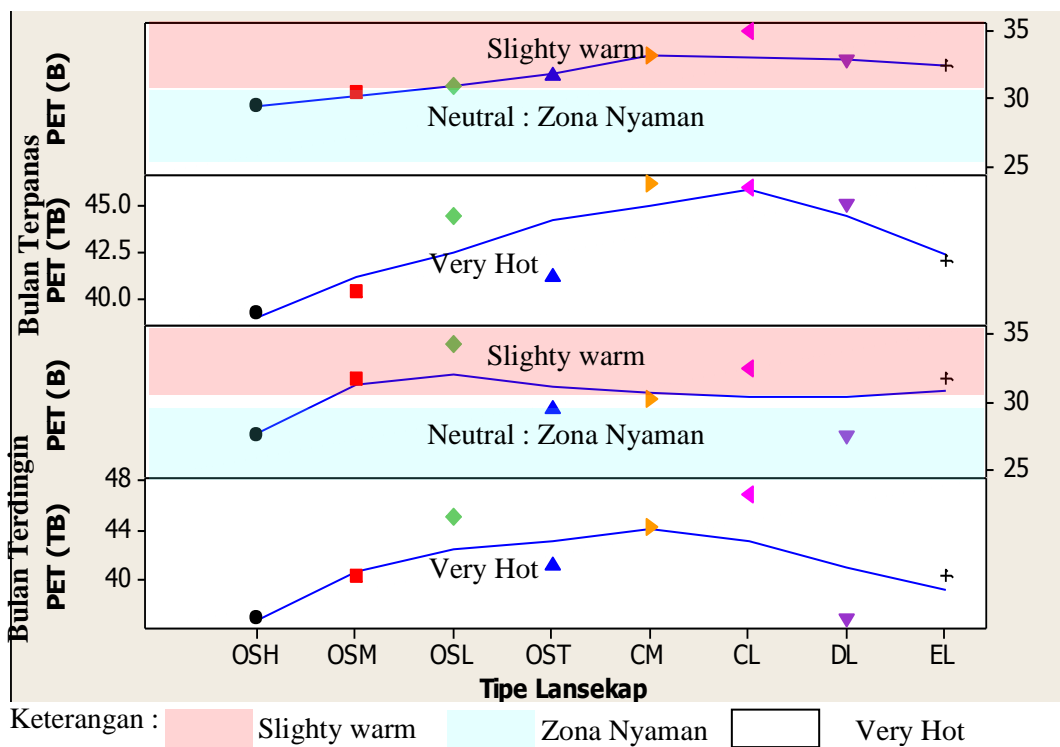
Seperti yang diketahui di daerah tropis memiliki karakteristik temperatur udara yang tinggi, kelembaban udara yang tinggi, intensitas radiasi matahari yang tinggi, dan kecilnya kecepatan angin. Oleh karena itu, suatu lansekap di daerah tropis dapat mempengaruhi kondisi termal yang baik. Adapun konfigurasi lansekap berupa orientasi jalan dan nilai H/W dari suatu lansekap sangat penting dalam mempengaruhi kondisi termal yang dapat mengontrol menghalangi penerimaan radiasi matahari secara langsung dan dapat memperoleh kecepatan angin yang besar. Namun, tidak terlepas dari komposisi lansekap (proporsi penutup lahan) itu sendiri. Misalnya proporsi pohon yang dominan, dapat mempengaruhi nilai kelembaban udara.

Kecepatan angin yang besar masih mampu memberikan efek pendinginan walaupun dengan kelembaban yang tinggi. Tetapi tidak untuk temperatur udara yang tinggi, sehingga perlu adanya pengontrol dalam menghalangi penerimaan radiasi matahari yaitu dengan memberikan pembayangan dari lansekap. Dengan demikian dengan adanya pembayangan yang

tepat dapat menurunkan temperatur udara. Ahmed (2003) menjelaskan bahwa pada area dengan nilai H/W tinggi (*deep canyon*) dapat meningkatkan kecepatan angin, pada saat tingkat kelembaban yang tinggi angin masih memberikan kenyamanan, tetapi tidak berlaku untuk temperatur tinggi. Sebagaimana di daerah tropis lembab kelembaban udara sangat tinggi dan kecepatan angin kecil, sehingga perlu untuk dapat mengontrol kecepatan angin lebih tinggi sehingga dapat menciptakan kondisi termal perkotaan yang baik.

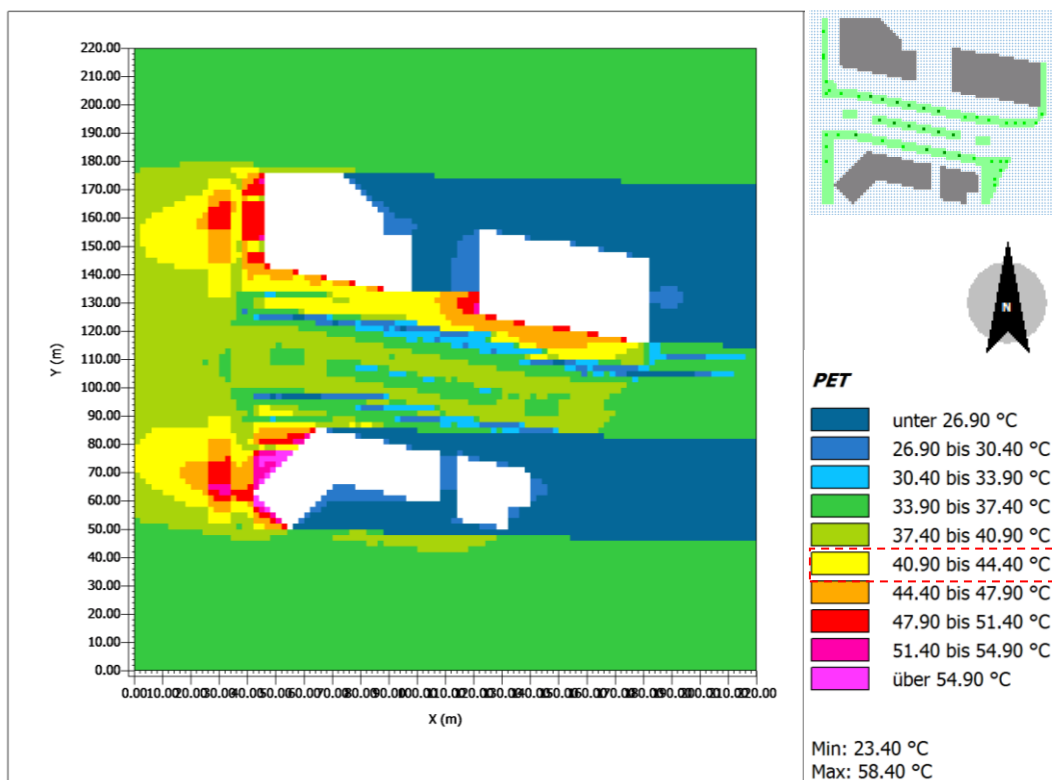
### 6.2.2. Kenyamanan Termal Ruang Luar (PET °C) di Setiap Tipe Lansekap pada Bulan Terpanas dan Terdingin

Gambar 6.14 menunjukkan hasil kenyamanan termal ruang luar di setiap tipe lansekap. Berdasarkan klasifikasi sensasi termal di daerah tropis lembab negara Singapura (Wei, Yang 2014) baik pada bulan terpanas dan terdingin, daerah tidak terbayangi menunjukkan zona ‘*very hot*’, sedangkan daerah terbayangi menunjukkan zona ‘*neutral* (nyaman)’ dan ‘*slightly warm* (agak hangat)’. Perbedaan nilai PET pada daerah terbayangi dan tidak terbayangi cukup besar yaitu berkisar 7-20 K.



Gambar 6.14 Nilai PET rata-rata di setiap Tipe Lansekap pada Bulan Terpanas dan Terdingin

Pada bulan terpanas dan terdingin, tipe lansekap OSH menunjukkan nilai PET yang paling rendah pada daerah terbayangi dan berada dalam zona nyaman dibandingkan pada daerah yang tidak terbayangi. Adapun nilai PET selama siang hari 29,33 °C (daerah terbayangi) dan 39,2 °C (daerah tidak terbayangi) (Gambar 6.15). Tipe ini memiliki nilai H/W 3, walaupun berorientasi Barat – Timur masih menguntungkan dalam perolehan pembayangan dan perolehan kecepatan angin yang tinggi (arah angin berasal dari Timur), sehingga pada daerah yang terbayangi sudah mencapai zona nyaman. Adanya vegetasi pada orientasi ini menambah besarnya nilai persentase pembayangan, sehingga dapat menciptakan kondisi kenyamanan ruang luar yang lebih baik. Andreou (2013) yang menjelaskan pohon di jalan orientasi Barat – Timur lebih banyak pengaruh terhadap peningkatan kenyamanan termal, dibandingkan pohon di orientasi Utara – Selatan, karena kondisi kenyamanan termal di orientasi Utara – Selatan sudah nyaman.



Gambar 6.15 Hasil Simulasi Distribusi Nilai PET di Tipe OSH (*Open-set Highrise*) di Orientasi Barat-Timur pada pukul 16:00

Tipe lansekap OSM dan OSL menunjukkan nilai PET pada bulan terpanas lebih rendah dibandingkan pada bulan terdingin (Tabel 6.2). Berbeda dengan tipe-tipe lansekap lainnya yang menunjukkan nilai PET pada bulan terpanas lebih tinggi dibandingkan bulan terdingin. Hal ini salah satunya dipengaruhi oleh komposisi penutup lahan alami di tipe OSL yang cukup tinggi, dengan perbandingan 40% penutup lahan alami dan 60% penutup lahan buatan. Di mana saat bulan terdingin nilai kelembaban udara cukup tinggi, sehingga juga dapat menyebabkan kelembaban udara mikro yang cukup tinggi. Selain itu juga dipengaruhi oleh orientasi jalan yang menghadap Barat Laut – Tenggara yang juga menguntungkan perolehan persentase pembayangan.

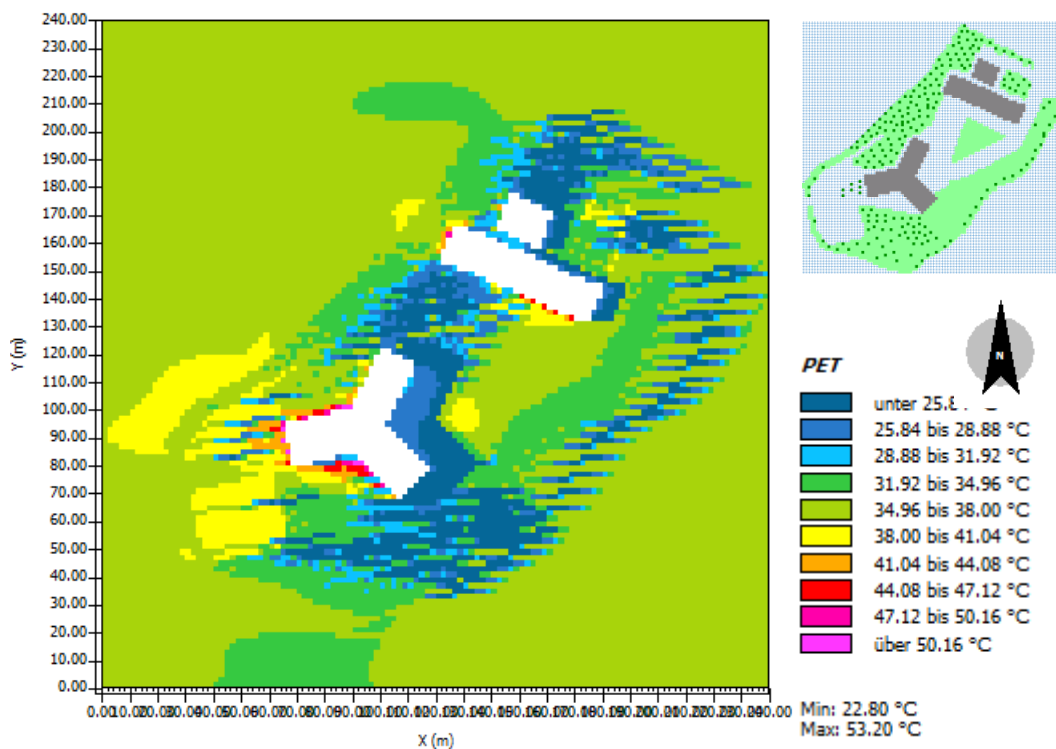
Tabel 6.2 Nilai PET rata-rata di setiap Tipe Lansekap

Tipe Lansekap	PET Bulan Terpanas				PET Bulan Terdingin			
	Siang Hari		Malam Hari		Siang Hari		Malam Hari	
	B	TB	B	TB	B	TB	B	TB
OSH	29.33	39.2	20.89	19.93	27.46	36.80	18.36	17.91
OSM	30.42	40.41	19.23	18.23	31.71	40.34	17.42	16.93
OSL	30.85	44.52	18.65	19.48	34.33	45.03	17.10	18.07
OST	31.62	41.16	19.31	18.25	29.48	41.14	17.74	16.60
CM	33.17	46.26	21.37	20.94	30.27	44.24	20.12	20.45
CL	34.93	46.07	18.72	19.77	32.51	46.87	17.23	18.13
DL	32.89	45.17	19.68	19.63	32.32	45.68	18.76	17.79
EL	32.4	42.08	19.67	18.32	29.48	40.44	16.62	17.76

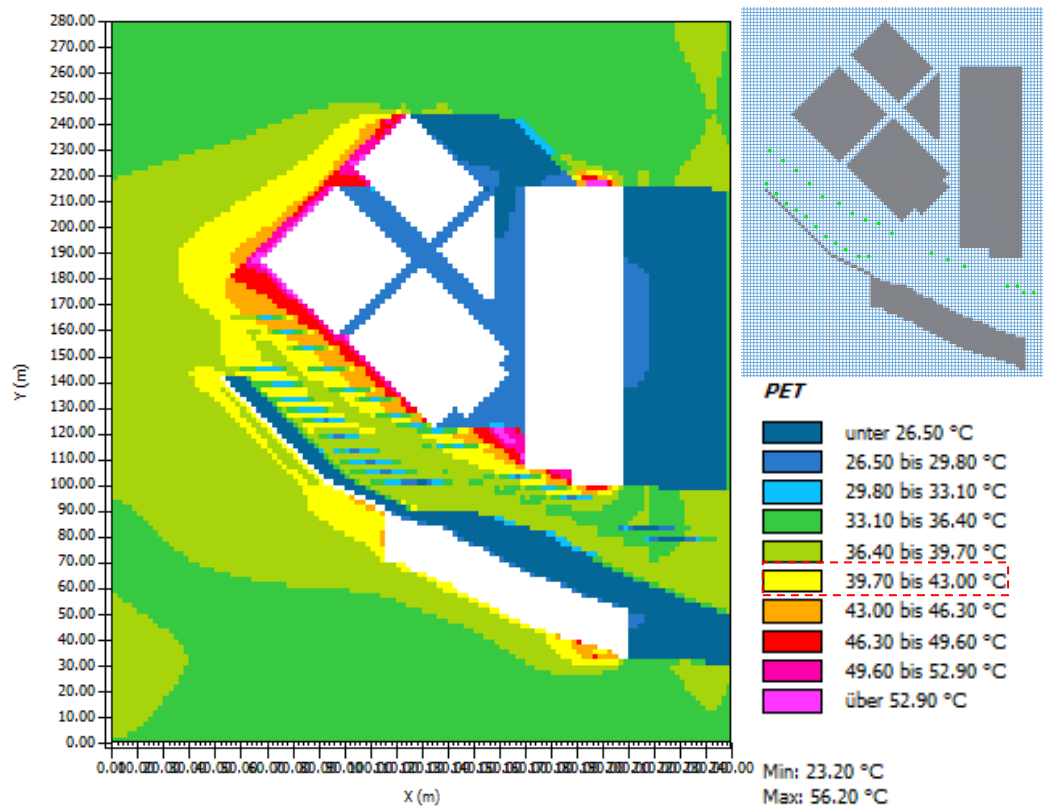
Nilai PET tipe lansekap OSM (30,42 °C) menunjukkan lebih rendah dibandingkan tipe lansekap OSL (30,85 °C). Hal ini dipengaruhi oleh besarnya nilai H/W yang juga menguntungkan dalam perolehan pembayangan. Walaupun komposisi penutup lahan alami di tipe OSM lebih sedikit dibandingkan tipe lansekap OSL, dengan perbandingan  $\pm 20\%$  penutup lahan alami dan 80% penutup lahan buatan (Gambar 6.16). Tipe CL memiliki nilai PET paling tinggi, baik pada bulan terpanas maupun bulan terdingin (34,93 °C daerah terbayangi dan 46,07 °C daerah yang tidak terbayangi). Hal ini dipengaruhi oleh kepadatan bangunan dengan nilai H/W rendah 0,7 dan berorientasi Utara-Selatan. Karakteristik ini sangat tidak menguntungkan dalam perolehan kecepatan angin, karena arah

datang angin berasal dari Timur. Walaupun orientasi jalan Utara-Selatan ini sangat menguntungkan dalam menghasilkan pembayangan (Gambar 6.17). Namun karena memiliki nilai H/W 0,7, jadi perolehan persentasi pembayangan menjadi sedikit. Perlu adanya penambahan pembayangan yang didapat dari pohon, sehingga dapat menciptakan kondisi kenyamanan ruang luar yang lebih baik.

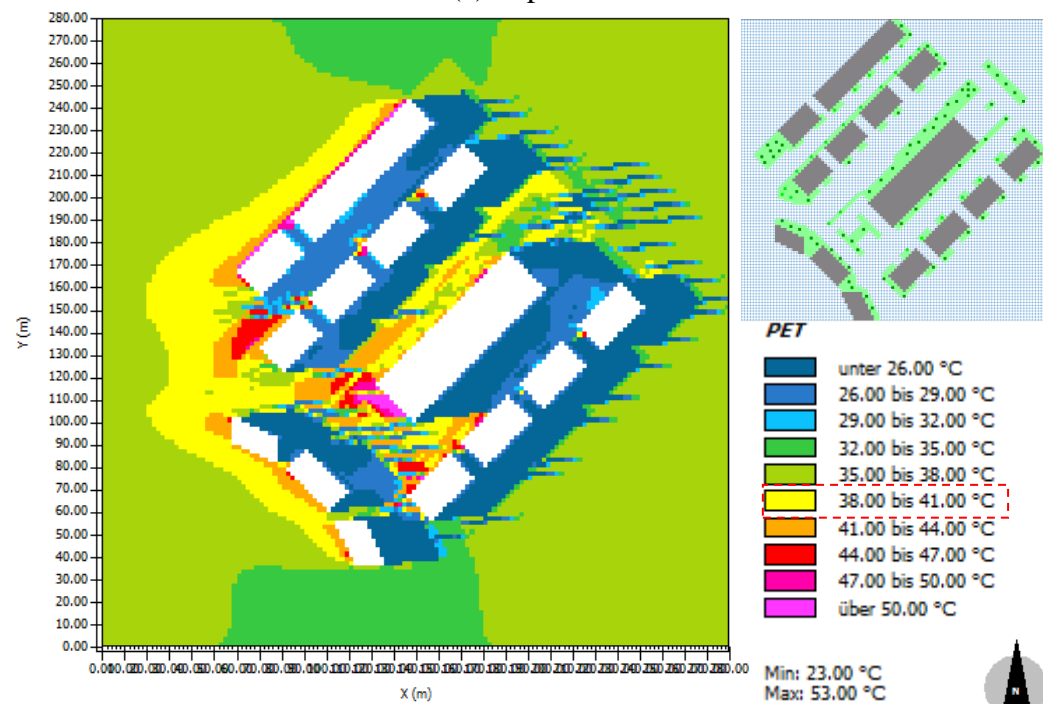
Sementara tipe OST yang merupakan kawasan penghijauan menunjukkan nilai PET lebih tinggi dibandingkan tipe OSM baik pada daerah terbayangi ( $\Delta$  PET = 1,2 K) dan tidak terbayangi ( $\Delta$  PET = 0,75 K) selama bulan terpanas. Proporsi penutup lahan pohon yang besar (42%) di tipe OST seharusnya dapat meningkatkan kenyamanan termal ruang luar dengan penataan pohon yang tepat. Secara teori, vegetasi berupa pohon dapat menurunkan temperatur udara. OBI (2014) menjelaskan bahwa pengaruh vegetasi terhadap kenyamanan termal perlu memperhatikan pola tata letak pohon. Berdasarkan penjelasan sebelumnya yang menyatakan bahwa konfigurasi lansekap di tipe OST dapat menghalangi kecepatan angin. Gambar 6.18 menunjukkan sebaran nilai PET di tipe OST.



Gambar 6.18 Hasil Simulasi Distribusi Nilai PET di Tipe OST (*Open-Set Trees*) pada Bulan Terpanas



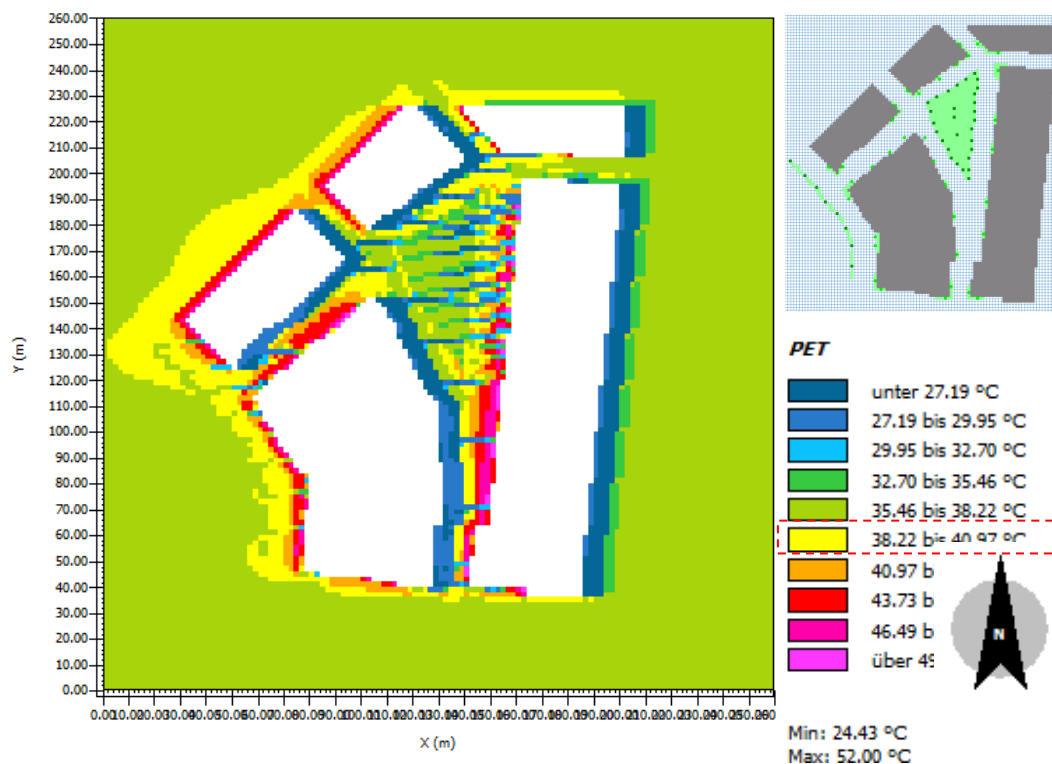
(a) Tipe OSM



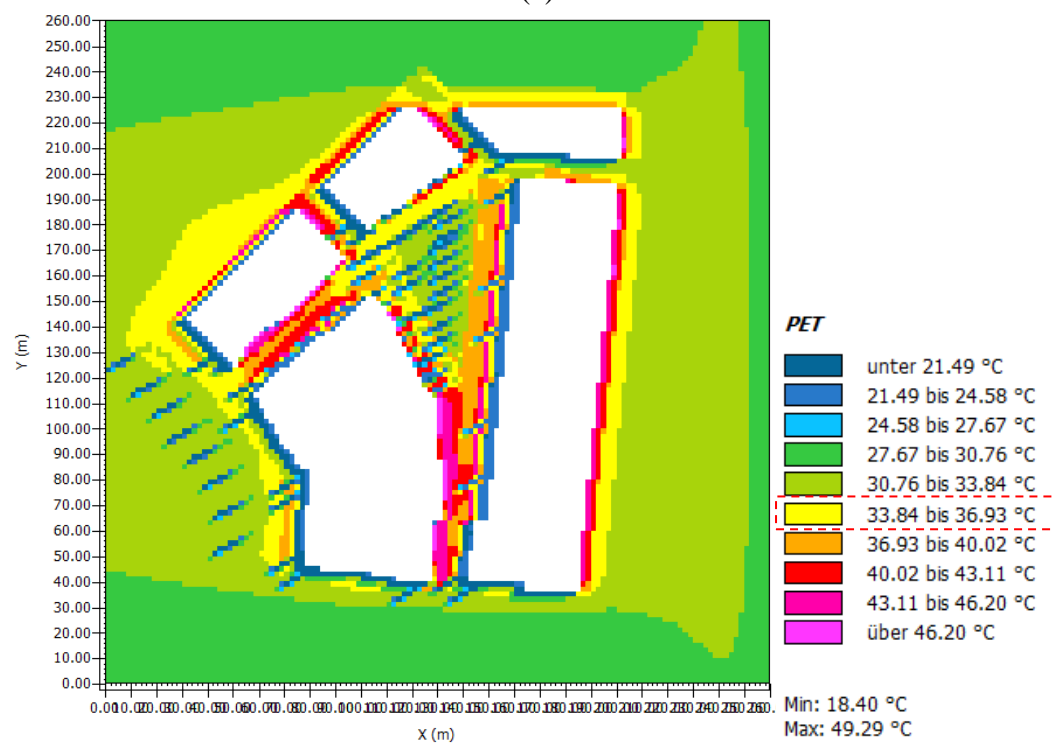
(b) Tipe OSL

Gambar 6.16 Hasil Simulasi Distribusi Nilai PET (a) Tipe OSM (*Open-set Midrise*) di Orientasi Barat-Timur (b) Tipe OSL (*Open-set Lowrise*) di Orientasi Barat Laut – Tenggara





(a)



(b)

Gambar 6.17 Hasil Simulasi Distribusi Nilai PET di Tipe CL (*Compact Lowrise*)  
(a) Bulan Terpanas (b) Bulan Terdingin

Berdasarkan penjelasan kenyamanan termal ruang luar di beberapa tipe lansekap di atas, pengaruh parameter desain berupa orientasi dan nilai H/W yang sangat signifikan mempengaruhi kenyamanan termal ruang luar, hal ini sama dengan kondisi termal. Namun, komposisi dan konfigurasi lansekap serta pembayangan yang dihasilkan oleh lansekap memiliki pengaruh yang berbeda terhadap kenyamanan termal ruang luar (PET) baik pada siang maupun malam hari. Untuk melihat pengaruh dari komponen, konfigurasi lansekap dan pembayangan terhadap kenyamanan termal ruang luar dilakukan dengan cara diagram scatter sehingga terlihat hubungan antara lansekap dengan PET dengan melihat nilai korelasi  $R^2$  (Tabel 6.3).

Tabel 6.3 Hubungan Lansekap dan Pembayangan terhadap Peningkatan dan Penurunan Nilai Kenyamanan Termal Ruang Luar PET

Parameter Desain		PET (°C) Bulan Terpanas		PET (°C) Bulan Terdingin	
		Siang Hari	Malam Hari	Siang Hari	Malam Hari
Komposisi	• Komponen Penutup Lahan				
	Lahan Area Terbangun	(-) 0,15	(-) 0,46	(-) 0,06	(-) 0,61
	Aspal + Paving	(+) 0,48	(+) 0,19	(+) 0,50	(+) 0,20
	Lahan Alami (Pohon, Rumput, Tanah)	(-) 0,08	(-) 0,005	(-) 0,09	(-) 0,007
Konfigurasi	• Orientasi Jalan / Kawasan	(+) 0,78	(+) 0,08	(+) 0,88	(+) 0,11
	• Pola Masa Bangunan	(+) 0,35	(+) 0,28	(+) 0,43	(+) 0,30
	• Nilai H/W	(-) 0,01	(+) 0,91	(-) 0,01	(+) 0,85
	• Pola Penataan Vegetasi	(+) 0,28		(+) 0,19	
Pembayangan	• Pagi 08:00	(-) 0,18		(-) 0,20	
	• Siang 12:00	(+) 0,01		(+) 0,03	
	• Sore 16:00	(-) 0,34		(-) 0,41	

Keterangan : (+) hubungan yang dapat meningkatkan nilai PET

(-) hubungan yang dapat menurunkan nilai PET

Penurunan dan peningkatan yang berpengaruh memiliki nilai mendekati 1

Hasil korelasi ini berdasarkan hubungan antara nilai PET di kedelapan tipe lansekap dengan komposisi, konfigurasi dan pembayangan. Hasilnya

menunjukkan bahwa selama siang hari parameter desain orientasi jalan / kawasan yang paling signifikan mempengaruhi nilai PET ( $R^2 = 0,78$  bulan terpanas dan  $R^2 = 0,88$  bulan terdingin). Di mana orientasi jalan berperan dalam penerimaan radiasi matahari dan perolehan kecepatan angin. Johansson (2006) dan Emmanuel (2007) menjelaskan bahwa untuk menciptakan kenyamanan termal ruang luar dipengaruhi oleh orientasi dan nilai H/W.

Sementara pada malam hari nilai PET sangat dipengaruhi oleh nilai H/W ( $R^2 = 0,91$  bulan terpanas dan  $R^2 = 0,85$  bulan terdingin). Hal ini terkait pada proses penyerapan dan pelepasan panas dari penutup lahan yang berada di koridor jalan (H/W). Hasil simulasi menunjukkan bahwa pada malam hari semakin tinggi nilai H/W menunjukkan nilai PET yang tinggi (terlihat di tipe CM dengan nilai H/W 1,6 dan OSH dengan nilai H/W 3). Hal ini dipengaruhi oleh tingginya nilai H/W dapat memperlambat pelepasan panas pada malam hari, sehingga pada malam hari dapat menunjukkan tidak nyaman. Rose (2011) menjelaskan peningkatan H/W / geometri jalan dan prosentase area terbangun dapat secara signifikan meningkatkan kenyamanan termal di siang hari. Sebaliknya, dapat memperburuk kenyamanan termal dan meningkatkan penggunaan energi untuk pendinginan sepanjang malam hari.

### **Diskusi Hasil Simulasi Kenyamanan Termal Ruang Luar di setiap Tipe Lansekap**

Diskusi ini akan menjawab pertanyaan penelitian ketiga yaitu bagaimana model sistem termal perkotaan yang dipengaruhi oleh lansekap dan pembayangan. Pembahasan ini lebih menekankan pembahasan mengenai pengaruh lansekap dan pembayangan terhadap kenyamanan termal ruang luar (PET).

Hasil analisa menunjukkan bahwa terutama pada bulan terpanas, pembayangan dan paparan sinar matahari merupakan faktor yang paling penting dalam mempengaruhi kenyamanan termal ruang luar. Oleh karena itu parameter desain berupa nilai H/W dan orientasi jalan memiliki dampak yang besar terhadap kondisi kenyamanan termal ruang luar. Sebagaimana Oke (1981); Johansson

(2006); Emmanuel dkk (2007); Rose (2011); Andreou (2013) dan Paramita dkk (2014) menjelaskan adanya pengaruh signifikan nilai H/W terhadap kenyamanan termal ruang luar PET. Hal ini terkait dengan temuan bahwa nilai H/W dan orientasi jalan merupakan faktor fundamental parameter desain dalam menghasilkan persentase pembayangan dan pergerakan aliran angin (arah angin dan kecepatan angin). Kedua faktor ini harus saling berhubungan untuk dapat menciptakan kondisi kenyamanan termal ruang luar yang baik.

Tipe OSH merupakan tipe lansekap yang berada pada orientasi Barat-Timur dengan nilai H/W 3 memiliki PET 39,46 °C pada daerah tidak terbayangi, namun pada daerah terbayangi memiliki nilai PET 29,33 °C (dalam zona nyaman). Secara teori orientasi Barat - Timur ini tingkat kenyamanannya kurang dibandingkan orientasi Utara – Selatan. Orientasi ini lebih banyak terkena paparan radiasi matahari, namun menguntungkan dalam perolehan kecepatan angin, karena angin berasal dari arah Timur. Johansson (2006) menjelaskan untuk menghasilkan pembayangan yang baik pada orientasi Barat-Timur membutuhkan setidaknya  $H/W \geq 4$  dan untuk orientasi Utara-Selatan membutuhkan minimal  $H/W \leq 2$  di daerah tropis. Namun untuk orientasi jalan Utara – Selatan perlu memperhatikan kerapatan antar bangunan, guna untuk mempertimbangkan perolehan kecepatan angin. Khususnya untuk daerah tropis lembab arah datang angin cenderung berasal dari arah Timur.

Berdasarkan hasil analisa di atas, hasil diskusi mengenai pengaruh lansekap dan pembayangan terhadap kenyamanan termal ruang luar PET khususnya di daerah tropis lembab, yaitu sebagai berikut :

- Nilai H/W dan orientasi jalan memiliki hubungan yang paling signifikan terhadap kenyamanan termal ruang luar PET terkait penerimaan radiasi matahari, arah angin dan kecepatan angin.
- Secara teori peningkatan H/W di jalan yang berorientasi Barat-Timur tidak dapat meningkatkan kenyamanan termal PET (berada diluar zona kenyamanan termal). Namun pada penelitian ini, dari delapan tipe lansekap yang ada justru menunjukkan nilai PET yang nyaman pada daerah yang terbayangi. Hal ini disebabkan pada orientasi jalan Barat-Timur memiliki nilai  $H/W = 3$ . Artinya

menguntungkan dalam perolehan kecepatan angin karena searah dengan arah datang angin dan perolehan persentase pembayangan.

- Perlu peningkatan H/W di jalan berorientasi Utara-Selatan dan diagonal, untuk dapat meningkatkan persentase bayangan yang dihasilkan oleh bangunan. Dan penambahan penyediaan bayangan dari pohon. Namun untuk orientasi Utara – Selatan peningkatan nilai H/W perlu memperhatikan kerapatan antar bangunan, guna untuk mempertimbangkan perolehan kecepatan angin. Khususnya untuk daerah tropis lembab arah datang angin cenderung berasal dari arah Timur atau Barat.

Berdasarkan hasil diskusi di atas, menunjukkan bahwa nilai H/W dan orientasi jalan memiliki pengaruh yang sangat signifikan terhadap kenyamanan termal ruang luar PET. Hal ini menunjukkan bahwa konfigurasi lansekap lebih mempengaruhi signifikan dibandingkan komposisi lansekap terhadap kenyamanan termal ruang luar PET. Artinya karakteristik spasial, pengaturan, posisi, dan kompleksitas penutup lahan lebih mempengaruhi kondisi kenyamanan termal ruang luar dibandingkan proporsi jenis tutupan lahan. Demikian juga dengan penelitian Du, Shihong dkk (2016) yang menunjukkan bahwa konfigurasi lansekap lebih mempengaruhi dibandingkan komposisi lansekap terhadap temperatur permukaan penutup lahan. Bedanya dengan hasil temuan penelitian ini yaitu konfigurasi lebih signifikan dibandingkan komposisi lansekap dalam mempengaruhi langsung terhadap kenyamanan termal ruang luar PET. Dimana PET dipengaruhi faktor fisik berupa elemen iklim (temperatur udara, kelembaban udara, kecepatan angin, temperatur radiasi matahari) dan faktor fisiologis berupa metabolisme manusia (umur, berat badan, jenis kelamin), pakaian dan aktivitas. Bukan lagi hanya sebatas temperatur permukaan penutup lahan.

Secara keseluruhan hasil diskusi pada penelitian ini, parameter desain yang paling signifikan mempengaruhi kenyamanan termal ruang luar adalah sebagai berikut :

- Komponen penutup lahan (komposisi) tidak dapat berdiri sendiri dalam mempengaruhi kondisi termal perkotaan. Artinya, perlu saling terkait antar parameter desain lainnya, seperti orientasi jalan, pola penataan vegetasi,

perbandingan nilai H/W dan pola pembayangan yang juga berbeda-beda dalam mempengaruhi kondisi termal. Komponen penutup lahan lebih mempengaruhi pada proses penyerapan dan pelepasan panas dari masing-masing komponen penutup lahan.

- Konfigurasi lansekap berupa orientasi jalan dan nilai H/W terkait dalam penerimaan radiasi matahari secara langsung dan perolehan kecepatan angin.

### **6.3. Hasil Analisa Statistik MANOVA: Kondisi Lingkungan Termal dan Kenyamanan Termal Hasil Simulasi pada Bulan Terpanas dan Bulan Terdingin**

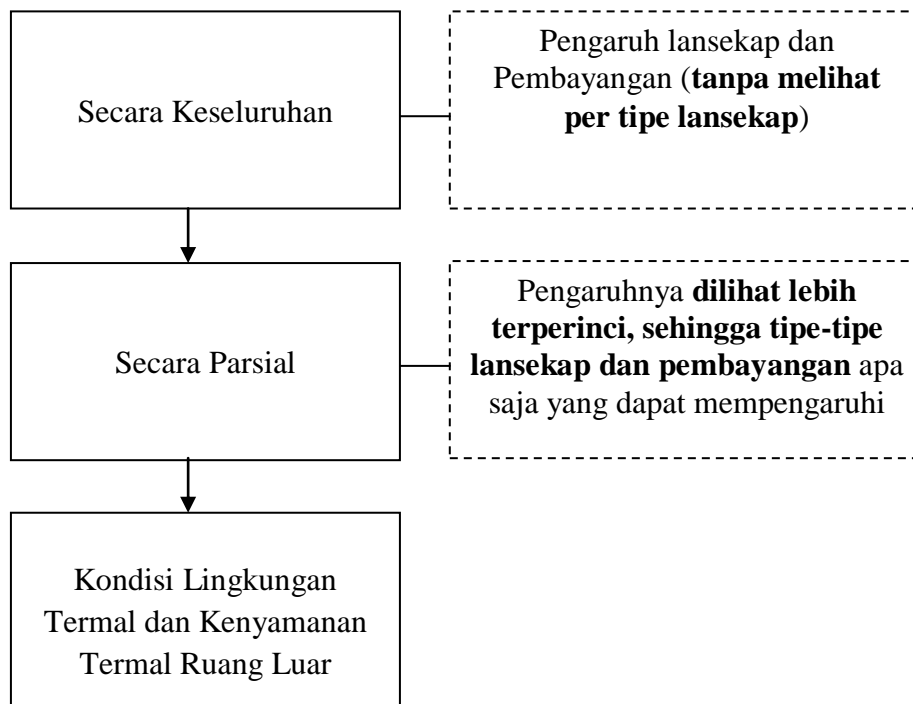
Berdasarkan analisa hasil simulasi kondisi termal dan kenyamanan termal ruang luar pada bulan terpanas dan terdingin di atas, yaitu bahwa komposisi dan konfigurasi lansekap tidak secara terpisah mempengaruhi kondisi termal dan kenyamanan termal ruang luar. Maksudnya terdapat parameter desain yang sangat signifikan mempengaruhi kenyamanan termal yaitu orientasi jalan, perbandingan nilai H/W dan proporsi penutup lahan. Seperti yang sudah dijelaskan pada awal sub bab 6.2, untuk dapat menjawab pertanyaan penelitian kedua dan ketiga yaitu bagaimana pengaruh dan model komposisi dan konfigurasi lansekap ruang kota serta pembayangan yang dihasilkan oleh komposisi dan konfigurasi lansekap ruang kota terhadap kondisi termal perkotaan di daerah tropis lembab, dilakukan dengan cara analisa statistik MANOVA.

Selanjutnya, setelah diketahui bagaimana kondisi termal perkotaan tersebut, akan dievaluasi dan dinilai dengan konsep kenyamanan termal ruang luar dengan menggunakan indeks kenyamanan termal PET ( $^{\circ}\text{C}$ ). Analisa kenyamanan termal ruang luar ini juga dengan menggunakan analisa statistik MANOVA. Dimana nilai PET ini dipengaruhi oleh faktor fisik berupa kondisi termal itu sendiri (temperatur udara, kelembaban udara, kecepatan angin dan temperatur radiasi matahari rata-rata) dan faktor fisiologis berupa metabolisme manusia (umur, berat badan dan jenis kelamin), pakaian dan aktivitas manusia.

Seperti yang sudah dijelaskan pada bab 3, untuk menunjukkan bagaimana pengaruh lansekap dan pembayangan terhadap kondisi termal tersebut

dengan cara analisa statistik MANOVA. Hasil analisa MANOVA ini berdasarkan hasil nilai signifikansi  $\alpha \leq 0,05$  dengan 2 cara, yaitu (Gambar 6.19) :

1. Secara keseluruhan, pada tahap ini pengaruh lansekap dan pembayangan dilihat secara keseluruhan (tanpa melihat per tipe lansekap) apakah mempengaruhi semua kondisi termal (elemen iklim).
2. Secara Parsial, pada tahap ini pengaruh tipe lansekap dan pembayangan dilihat lebih terperinci, sehingga tipe-tipe lansekap dan pembayangan apa saja yang dapat mempengaruhi elemen iklim. Sehingga dapat dijelaskan kondisi termal, yaitu elemen iklim apa saja yang paling signifikan dipengaruhi oleh lansekap dan pembayangan.



Gambar 6.19 Proses pengaruh lansekap dan pembayangan terhadap kondisi termal dan Kenyamanan Termal Ruang Luar dengan cara analisa statistik MANOVA

### 6.3.1 Kondisi Lingkungan Termal dan Kenyamanan Termal Ruang Luar pada Bulan Terpanas

Dari hasil statistik MANOVA secara keseluruhan lansekap, pembayangan dan interaksi keduanya (lansekap dan pembayangan) mempengaruhi semua kondisi termal dengan nilai signifikansi  $\alpha = 0,00$  (hampir

sempurna) (Lampiran 6.2). Dalam hal ini MANOVA tidak mempertimbangkan perbedaan antara tipe lansekap, jadi terlihat hasil bahwa semua elemen iklim dipengaruhi oleh lansekap dan pembayangan. Namun, jika dilihat secara parsial dengan nilai signifikansi  $\alpha \leq 0,05$  (Lampiran 6.3), baik lansekap, pembayangan maupun interaksi keduanya tidak semua mempengaruhi kondisi termal (hanya beberapa elemen iklim saja). Dalam hal ini perbedaan antara tipe lansekap diperhitungkan, sehingga terlihat elemen iklim apa saja yang dipengaruhi oleh lansekap dan pembayangan. Tabel 6.4 menunjukkan pengaruh lansekap dan pembayangan terhadap kondisi termal baik secara keseluruhan dan secara parsial.

Tabel 6.4 Pengaruh Lansekap dan Pembayangan terhadap Kondisi Lingkungan Termal dan Kenyamanan Termal Ruang Luar pada Bulan Terpanas (Hasil Signifikansi  $\alpha \leq 0,05$ )

Hasil Uji Statistik	Lansekap dan Pembayangan	Kondisi Termal & Kenyamanan Termal					
		Y1	Y2	Y3	Y4	Y5	Y6
Secara Keseluruhan	Lansekap	√	√	√	√	√	√
	Pembayangan	√	√	√	√	√	√
	Interaksi Lansekap dan Pembayangan	√	√	√	√	√	√
		Y1	Y2	Y3	Y4	Y5	Y6
Secara Parsial	Lansekap	-	-	√	-	-	√
	Pembayangan	-	-	√	√	√	√
	Interaksi Lansekap dan Pembayangan	-		√	-	-	-

Keterangan : Y1 : Temperatur udara  
Y2 : Kelembaban Udara  
Y3 : Kecepatan Angin  
Y4 : Intensitas Radiasi Matahari  
Y5 : Temperatur Radiasi Matahari Rata-rata  
Y6 : PET  
√ : Memenuhi Nilai Signifikansi  
- : Tidak Memenuhi Nilai Signifikansi

Sumber: Statistik MANOVA, 2016

Hasil uji statistik secara parsial, menunjukkan hanya elemen iklim kelembaban udara dan kecepatan angin yang paling signifikan dipengaruhi oleh lansekap. Adapun tipe lansekap yang mempengaruhi secara signifikan yaitu tipe lansekap OSH, OSM dan EL (Tabel 6.5). Karakteristik di tipe lansekap OSH



mempengaruhi terhadap nilai kelembaban udara dan kecepatan angin (hal ini terlihat pada hasil analisa pengukuran lapangan dan simulasi), sementara tipe OSM hanya mempengaruhi nilai kelembaban udara dan tipe EL mempengaruhi kecepatan angin. Variabel pembayangan, kondisi termal dipengaruhi oleh kecepatan angin, intensitas radiasi matahari, temperatur radiasi matahari rata-rata dan indeks kenyamanan termal PET (Lampiran 6.4). Hampir semua tipe lansekap mempengaruhi kondisi termal ditinjau dari pembayangan. Namun, tidak semua daerah terbayangi dan tidak terbayangi mempengaruhi kondisi termal (Tabel 6.6). Tipe lansekap yang berpengaruh terhadap kondisi dan kenyamanan termal yaitu tipe OSH pada daerah terbayangi dan tipe OSL, CL, DL pada daerah yang tidak terbayangi (Hal ini sesuai dengan hasil analisa pengukuran lapangan dan simulasi pada uraian sebelumnya).

Tabel 6.5 Hasil Signifikansi ( $\alpha \leq 0,05$ ) Pengaruh Tipe Lansekap terhadap Kondisi Lingkungan Termal Bulan Terpanas.

Tipe Lansekap	Kondisi Termal	
	Kelembaban Udara	Kecepatan Angin
OSH	√	√
OSM	√	-
OSL	-	-
CM	-	-
CL	-	-
DL	-	-
EL	-	√
OST	-	-

Keterangan : √ : Memenuhi Nilai Signifikansi  
 - : Tidak Memenuhi Nilai Signifikansi

Sumber: Statistik MANOVA, 2016

Jika dilihat interaksi keduanya antara lansekap dan pembayangan yang paling signifikan mempengaruhi kondisi termal yaitu hanya elemen iklim kecepatan angin. Hal ini dipengaruhi oleh bagaimana komposisi dan konfigurasi dari tipe-tipe lansekap itu sendiri dan pembayangan yang dihasilkan sebagai pengaruh pergerakan aliran angin. Brown dan Gillespie (1995) ; Brown (2010 ; 2011) mengemukakan bahwa desain lansekap secara signifikan dapat

memodifikasi elemen iklim mikro yaitu radiasi matahari dan pergerakan angin. Terdapat perbedaan, yaitu pada kelembaban udara. Hasil penelitian ini mengemukakan bahwa kelembaban udara sangat dipengaruhi oleh lansekap, namun pada penelitian Brown tidak. Hal ini dipengaruhi oleh, kondisi di daerah tropis lembab yang memiliki kelembaban udara yang sangat tinggi.

Tabel 6.6 Hasil Signifikansi ( $\alpha \leq 0,05$ ) Pengaruh Pembayangan terhadap Kondisi Lingkungan Termal dan Kenyamanan Termal pada Bulan Terpanas

Tipe Lansekap		Kondisi Termal			
		Kecepatan Angin	Intensitas Radiasi Matahari	Temperatur Radiasi Matahari	Indeks Kenyamanan Termal PET
OSH	Terbayangi	√	√	√	√
	Tdk Terbayangi	√	√	√	-
OSM	Terbayangi	-	√	-	√
	Tdk Terbayangi	√	√	√	-
OSL	Terbayangi	-	-	-	-
	Tdk Terbayangi	√	√	√	√
CM	Terbayangi	√	√	√	-
	Tdk Terbayangi	-	-	-	√
CL	Terbayangi	√	√	√	-
	Tdk Terbayangi	√	√	√	√
DL	Terbayangi	-	√	-	-
	Tdk Terbayangi	√	√	√	√
EL	Terbayangi	√	√	√	-
	Tdk Terbayangi	√	√	√	-
OST	Terbayangi	-	√	-	-
	Tdk Terbayangi	√	√	√	-

Keterangan : √ : Memenuhi Nilai Signifikansi

- : Tidak Memenuhi Nilai Signifikansi

Sumber : Statistik MANOVA, 2016

### 6.3.2 Kondisi Termal dan Kenyamanan Termal Ruang Luar pada Bulan Terdingin

Begitu juga pada saat bulan terdingin, secara keseluruhan lansekap dan pembayangan juga mempengaruhi kondisi termal dengan nilai signifikan 0,00 (hampir sempurna) (Lampiran 6.5). Berbeda dengan bulan terpanas, pada saat bulan terdingin, dilihat secara parsial jumlah elemen iklim (kondisi termal) lebih banyak dipengaruhi oleh lansekap, yaitu kelembaban udara, kecepatan angin, dan temperatur radiasi matahari rata-rata dan PET (Lampiran 6.6). Namun, untuk

variabel pembayangan, elemen iklim yang dipengaruhi oleh pembayangan sama dengan variabel lansekap, yaitu kecepatan angin, intensitas radiasi matahari, temperatur radiasi matahari rata-rata dan PET. Jika dilihat interaksi keduanya elemen iklim yang paling signifikan dipengaruhi yaitu kelembaban udara dan kecepatan angin (Tabel 6.7). Artinya pada bulan terdingin, komposisi dan konfigurasi lansekap serta pembayangan yang dihasilkan oleh lansekap sangat mempengaruhi kondisi termal terutama pada kelembaban udara dan kecepatan angin.

Tabel 6.7 Pengaruh Lansekap dan Pembayangan terhadap Kondisi Lingkungan Termal dan Kenyamanan Termal pada Bulan Terdingin (Hasil Signifikansi  $\alpha \leq 0,05$ )

Hasil Uji Statistik	Lansekap dan Pembayangan	Kondisi Termal & Kenyamanan Termal					
		Y1	Y2	Y3	Y4	Y5	Y6
Secara Keseluruhan	Lansekap	√	√	√	√	√	√
	Pembayangan	√	√	√	√	√	√
	Interaksi Lansekap dan Pembayangan	√	√	√	√	√	√
		Y1	Y2	Y3	Y4	Y5	Y6
Secara Parsial	Lansekap	-	√	√	-	√	√
	Pembayangan	-	√	√	√	√	√
	Interaksi Lansekap dan Pembayangan	-	√	√	-	-	-

Keterangan : Y1 : Temperatur udara

Y2 : Kelembaban Udara

Y3 : Kecepatan Angin

Y4 : Intensitas Radiasi Matahari

Y5 : Temperatur Radiasi Matahari Rata-rata

Y6 : PET

√ : Memenuhi Nilai Signifikansi

- : Tidak Memenuhi Nilai Signifikansi

Sumber: Statistik MANOVA, 2016

Pada bulan terdingin, baik tipe lansekap maupun pembayangan yang paling signifikan mempengaruhi kondisi termal lebih banyak dibandingkan pada bulan terpanas (Tabel 6.7 dan 6.8). Dari tipe lansekap yang bersifat ruang terbuka (*open-set*) sampai padat (*compact*). Hal ini dipengaruhi oleh posisi matahari pada saat bulan terdingin berada lebih mengarah ke Utara. Secara tidak langsung berpengaruh pada intensitas radiasi matahari. Intensitas radiasi matahari

berpengaruh pada perolehan pembayangan yang dihasilkan oleh lansekap. Pada bulan terdingin perolehan persentase pembayangan cenderung lebih banyak dibandingkan pada bulan terdingin.

Jika dilihat dari interaksi antara lansekap dan pembayangan yang paling signifikan mempengaruhi kondisi termal yaitu kelembaban udara dan kecepatan angin. Berbeda dengan pada saat bulan terpanas, selain dipengaruhi oleh bagaimana tipe lansekap itu sendiri dan pembayangan yang dihasilkan sebagai pengarah pergerakan aliran angin, juga dipengaruhi oleh kelembaban udara yang cukup tinggi pada saat bulan terdingin. Hal ini tentunya berpengaruh pada tipe-tipe lansekap yang memiliki komposisi persentase penutup lahan alami (pohon dan rumput) yang lebih dominan sekitar 30-60% dibandingkan penutup lahan buatan. Seperti pada tipe-tipe lansekap OSH, DL dan OST.

Tabel 6.8 Hasil Signifikansi ( $\alpha \leq 0,05$ ) Pengaruh Pembayangan terhadap Kondisi Lingkungan Termal Bulan Terdingin

Tipe Lansekap		Kondisi Termal				Indeks Kenyamanan Termal PET
		Kelembaban Udara	Kecepatan Angin	Intensitas Radiasi Matahari	Temperatur Radiasi Matahari rata-rata	
OSH	B			√	√	√
	TB	√	√	√		
OSM	B		√	√		
	TB	√	√	√	√	
OSL	B		√	√		
	TB		√	√	√	
CM	B			√		
	TB			√		
CL	B		√	√		
	TB		√	√	√	√
DL	B		√	√		
	TB		√	√		
EL	B		√	√		
	TB	√	√	√	√	
OST	B		√	√		
	TB		√	√	√	

Keterangan : B : Terbayangi

TB : Tidak Terbayangi

√ : Memenuhi Nilai Signifikansi

- : Tidak Memenuhi Nilai Signifikansi

Sumber: Statistik MANOVA, 2016

Tabel 6.9 Hasil Signifikansi ( $\alpha \leq 0,05$ ) Pengaruh Tipe Lansekap terhadap Kondisi Lingkungan Termal pada Bulan Terdingin

Tipe Lansekap	Kondisi Termal			
	Kelembaban Udara	Kecepatan Angin	Temperatur Radiasi Matahari Rata-rata	Indeks Kenyamanan Termal PET
OSH	√	√		√
OSM	√	√		
OSL			√	√
CM	√	√		
CL		√	√	√
DL			√	
EL	√	√	√	
OST	√		√	

Keterangan : √ : Memenuhi Nilai Signifikansi

- : Tidak Memenuhi Nilai Signifikansi

Sumber: Statistik MANOVA, 2016

### 6.3.3 Diskusi Hasil Simulasi Kondisi Lingkungan Termal dan Kenyamanan Termal Ruang Luar di Setiap Tipe Lansekap

Diskusi ini akan menjawab pertanyaan penelitian kedua. Pembahasan yang dilakukan mengenai pengaruh lansekap dan pembayangan terhadap kondisi termal dan kenyamanan termal ruang luar pada daerah tropis lembab. Hasil analisa statistik dengan menggunakan MANOVA ini menunjukkan bahwa terdapatnya pengaruh lansekap dan pembayangan yang berbeda pada bulan terpanas dan terdingin, yaitu :

- Pada Bulan Terpanas, lansekap hanya berpengaruh signifikan terhadap kecepatan angin dan kenyamanan termal PET.
- Pada Bulan Terdingin, lansekap hanya berpengaruh signifikan terhadap kelembaban udara, kecepatan angin, temperatur radiasi matahari rata-rata dan kenyamanan termal PET
- Baik pada bulan terpanas dan terdingin, elemen iklim berupa temperatur udara tidak sama sekali dipengaruhi oleh lansekap dan pembayangan.

Di mana Brown dan Gillespie (1995) ; Brown (2010 ; 2011) mengemukakan bahwa desain lansekap secara signifikan dapat memodifikasi elemen iklim mikro seperti radiasi matahari dan pergerakan angin. Sedangkan

temperatur udara, kelembaban udara dan curah hujan merupakan elemen yang tidak terlalu penting dalam desain lansekap untuk memodifikasi elemen iklim mikro.

Berdasarkan hasil analisa statistik di atas, dapat disimpulkan bahwa hasil diskusi pengaruh lansekap dan pembayangan terhadap kondisi termal dan kenyamanan termal ruang luar pada daerah tropis lembab, sebagai berikut :

- Tipe lansekap berbeda-beda dalam mempengaruhi kondisi termal (elemen iklim) pada bulan terpanas dan terdingin. Hal ini dipengaruhi oleh komposisi dan konfigurasi lansekap yang tidak secara terpisah dalam mempengaruhi kondisi termal perkotaan.
- Penelitian ini berlokasi di daerah tropis lembab, dengan karakteristik iklim temperatur dan kelembaban udara yang relatif tinggi, intensitas radiasi matahari yang relatif tinggi dan kecepatan angin yang relatif rendah. Maka pada bulan terpanas lansekap hanya berpengaruh signifikan terhadap kecepatan angin dan PET. Sementara pada bulan terdingin, lansekap dapat dimodifikasi oleh kecepatan angin, kelembaban udara, temperatur radiasi matahari dan kenyamanan termal PET. Sementara Brown dan Gillespie (1995); Brown (2010 ; 2011) menjelaskan elemen iklim berupa temperatur udara dan kelembaban udara tidak terlalu penting dalam desain lansekap untuk memodifikasi elemen iklim mikro. Hasil penelitian ini terdapat perbedaan. Hal ini dipengaruhi oleh selain karakteristik iklim tersebut, di daerah tropis lembab juga merupakan kelimpahan hutan tropis, sehingga kelembaban udara tersebut dapat dimodifikasi dalam desain lansekap berupa penutup lahan alami pohon sehingga terciptanya kondisi termal perkotaan yang nyaman.

Berdasarkan penjelasan di atas, maka pada pembahasan ini mengembangkan teori dari Brown dan Gillespie (1995); Brown (2010 ; 2011) yang mengemukakan bahwa desain lansekap secara signifikan dapat memodifikasi elemen iklim mikro yaitu radiasi matahari dan pergerakan angin. Khususnya pada penelitian ini, baik pada saat bulan terpanas dan terdingin, desain lansekap dan pembayangan dapat dimodifikasi oleh kecepatan angin dan nilai PET.

Untuk dapat melihat seberapa jauh pengaruh komponen penutup lahan dilakukan eksperimen dengan membuat model tipe lansekap berdasarkan modifikasi persentase penutup lahan yang juga tidak terlepas dari pengaruh H/W dan orientasi jalan. Eksperimen ini merupakan proses optimasi model sistem lingkungan termal perkotaan, sehingga didapat tipe lansekap yang paling efektif dapat menciptakan kenyamanan termal ruang luar.

#### **6.4. Eksperimen sebagai Hasil Akhir untuk Model Sistem Lingkungan Termal Perkotaan**

Berdasarkan hasil analisa pengukuran lapangan, simulasi dan korelasi antar parameter desain dengan kondisi iklim mikro dapat disimpulkan bahwa komposisi dan konfigurasi lansekap serta pembayangan yang dihasilkan lansekap tidak secara terpisah mempengaruhi kenyamanan termal ruang luar. Konfigurasi berupa orientasi jalan dan H/W memiliki hubungan yang signifikan terhadap kondisi termal, yaitu dalam perolehan arah dan kecepatan angin serta pembayangan. Tujuan eksperimen ini untuk menjawab tujuan penelitian ketiga yaitu menjelaskan model sistem termal perkotaan khususnya di daerah tropis lembab. Model tersebut dijelaskan dengan melihat seberapa besar pengaruh komposisi komponen penutup lahan, konfigurasi berupa orientasi dan nilai H/W, serta pembayangan yang dihasilkan pada tipe lansekap terhadap kondisi kenyamanan termal ruang luar.

##### **6.4.1 Rancangan Eksperimen**

Eksperimen dilakukan dengan memodifikasi persentase dari masing-masing komponen penutup lahan, yaitu penutup lahan buatan (PLB) yang terdiri dari aspal dan paving, penutup lahan alami (PLA) terdiri dari tanah dan rumput, pohon dan bangunan. Modifikasi persentase komponen penutup lahan tersebut terdiri dari 15 model eksperimen tipe lansekap. Asumsi pembuatan model tersebut berdasarkan :

1. Pengukuran Lapangan

Pengaruh komponen penutup lahan terhadap kecenderungan peningkatan dan penurunan temperatur udara. Hasil pengukuran lapangan menunjukkan bahwa

ada dua tipe lansekap yang tidak sesuai dengan teori, yaitu tipe OSM dan OST. Jika ditinjau dari aspek konfigurasi lansekap, peningkatan penutup lahan buatan tidak selalu menunjukkan peningkatan temperatur udara, demikian sebaliknya. Arnfield (2003) dalam Johansson, 2006 dan Lun dkk (2009) mendeskripsikan bahwa sifat termal dan radiasi dari komponen penutup lahan sangat mempengaruhi iklim perkotaan. Andreou (2013) menjelaskan pengaruh albedo permukaan sangat besar pada nilai H/W yang rendah dibandingkan nilai H/W yang tinggi.

## 2. Simulasi

Hasil simulasi menunjukkan hal yang sama dengan pengukuran lapangan. Hasil simulasi dengan bantuan metode korelasi menunjukkan bahwa konfigurasi lansekap lebih mempengaruhi kondisi kenyamanan termal ruang dibandingkan komposisi lansekap. Adapun Konfigurasinya berupa orientasi jalan dan nilai H/W. Du, Shihong dkk (2016) menjelaskan bahwa konfigurasi lansekap lebih mempengaruhi dibandingkan komposisi lansekap terhadap temperatur permukaan penutup lahan.

## 3. Ukuran luas dalam satu tipe lansekap

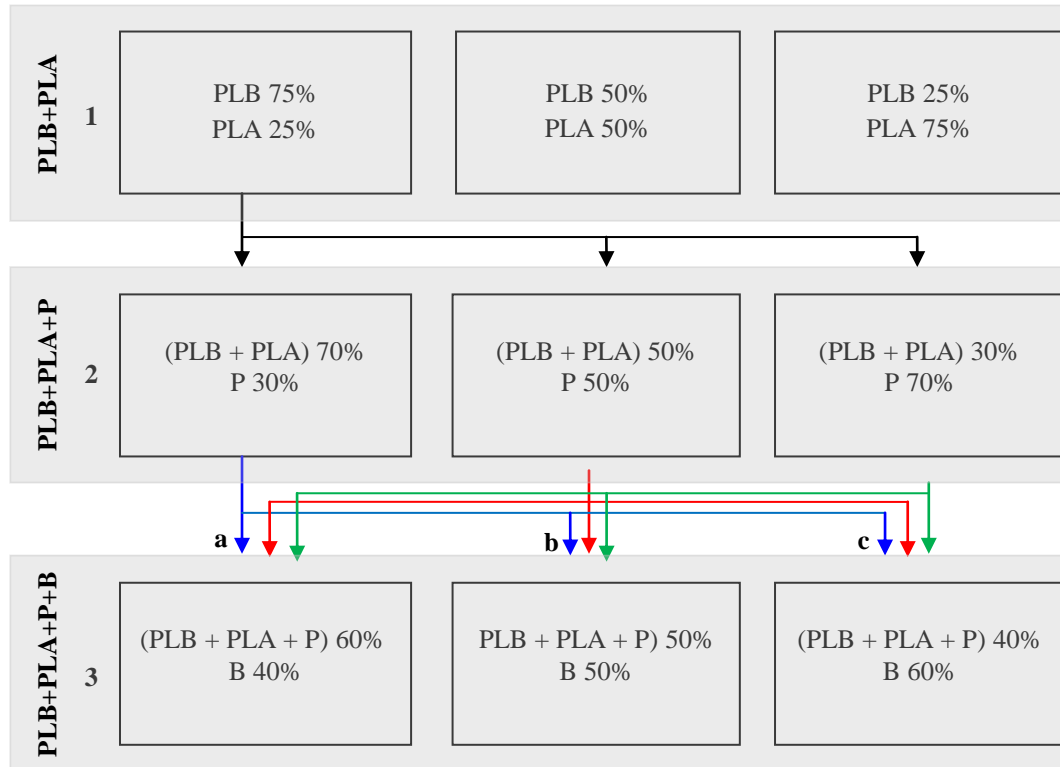
Model simulasi akan dibuat dengan ukuran  $100 \times 100 \text{ m}^2$ . Alasannya bahwa iklim mikro dalam suatu perkotaan akan berpengaruh dengan cakupan  $100\text{--}10.000 \text{ m}^2$  (Stewart, 2011).

### 6.4.2 Model Eksperimen

Berdasarkan asumsi di atas, model eksperimen berupa modifikasi komponen penutup lahan terdiri dari pengkondisian kelompok (1) penutup lahan buatan dan alami, (2) penutup lahan buatan, alami dan pohon, (3) penutup lahan buatan, alami, pohon dan bangunan. Gambar 6.20 menunjukkan diagram model eksperimen berdasarkan modifikasi komponen penutup lahan. Pembagian nilai persentase dari masing-masing komponen penutup lahan di atas berdasarkan hasil pengukuran lapangan bahwa tipe lansekap yang memiliki kecenderungan penutup lahan buatan dan bangunan  $\pm 70\%$  ke atas dan  $\pm 50\%$  ke bawah memiliki pola peningkatan dan penurunan temperatur udara yang sama. Untuk perhitungan persentase masing-masing komponen penutup lahan di setiap model lansekap,



dihitung berdasarkan turunan dari persentase model di atasnya. Hasil diagram model eksperimen di atas didapat 15 model tipe lansekap (Tabel 6.10).



Keterangan :

PLB : Penutup Lahan Buatan

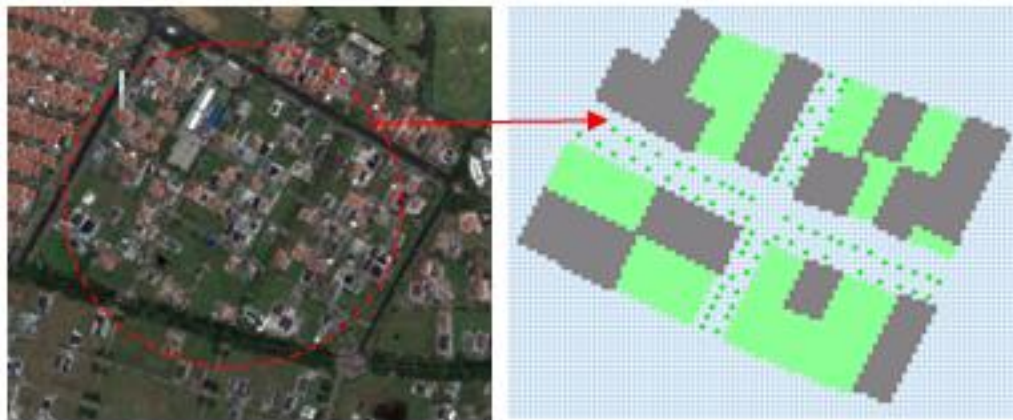
P : Pohon

PLA : Penutup Lahan Alami

B : Bangunan

Gambar 6.20 Diagram Model Eksperimen Berdasarkan Modifikasi Komponen Penutup Lahan.

Model LBA7525 merupakan model *basecase* untuk kesemua model dengan ukuran 100 X 100 m<sup>2</sup>. Namun, di setiap kelompok pengkondisian model lansekap memiliki *basecase* masing-masing guna untuk menghitung seberapa besar pengaruhnya terhadap kondisi termal setiap peningkatan dan penurunan persentase komponen penutup lahan. Bentuk model tipe lansekap dibuat seperti bangunan yang berada di perempatan jalan (Gambar 6.21), sehingga dapat mewakili orientasi Timur – Barat dan Utara – Selatan. Bentuk model tipe lansekap yang berada di perempatan jalan ini menggambarkan atau mewakili tipe-tipe lansekap yang ada di lapangan, seperti terlihat di tipe lansekap DL (Gambar 6.22). Sementara penentuan nilai H/W mengikuti nilai persentase penutup lahan buatan, sehingga berpengaruh pada lebar jalan dan ketinggian bangunan (Gambar 6.23).

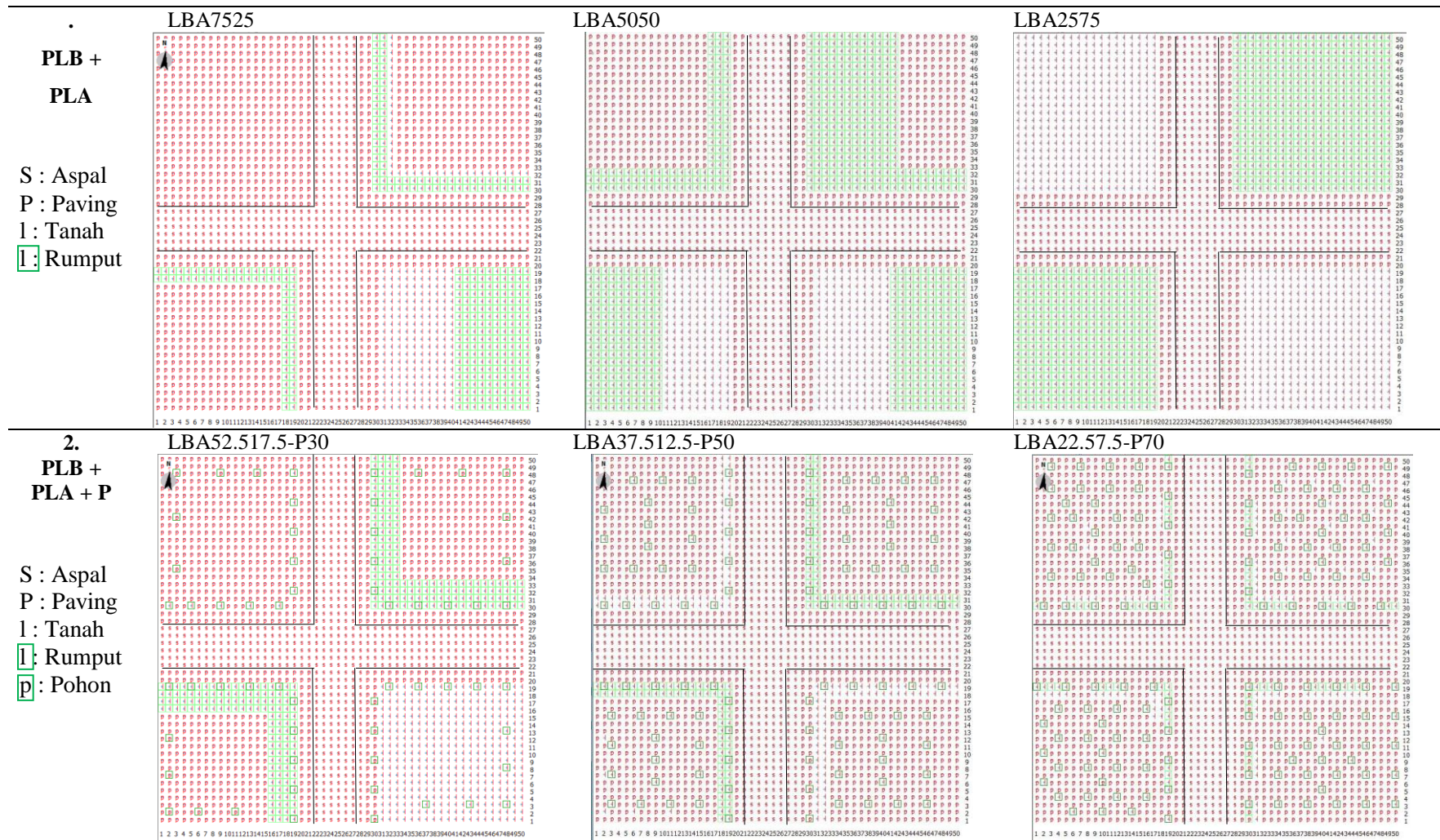


Gambar 2.22 Tipe Lansekap DL yang menggambarkan Bentuk Model Eksperimen yang berada di Perempatan Jalan.

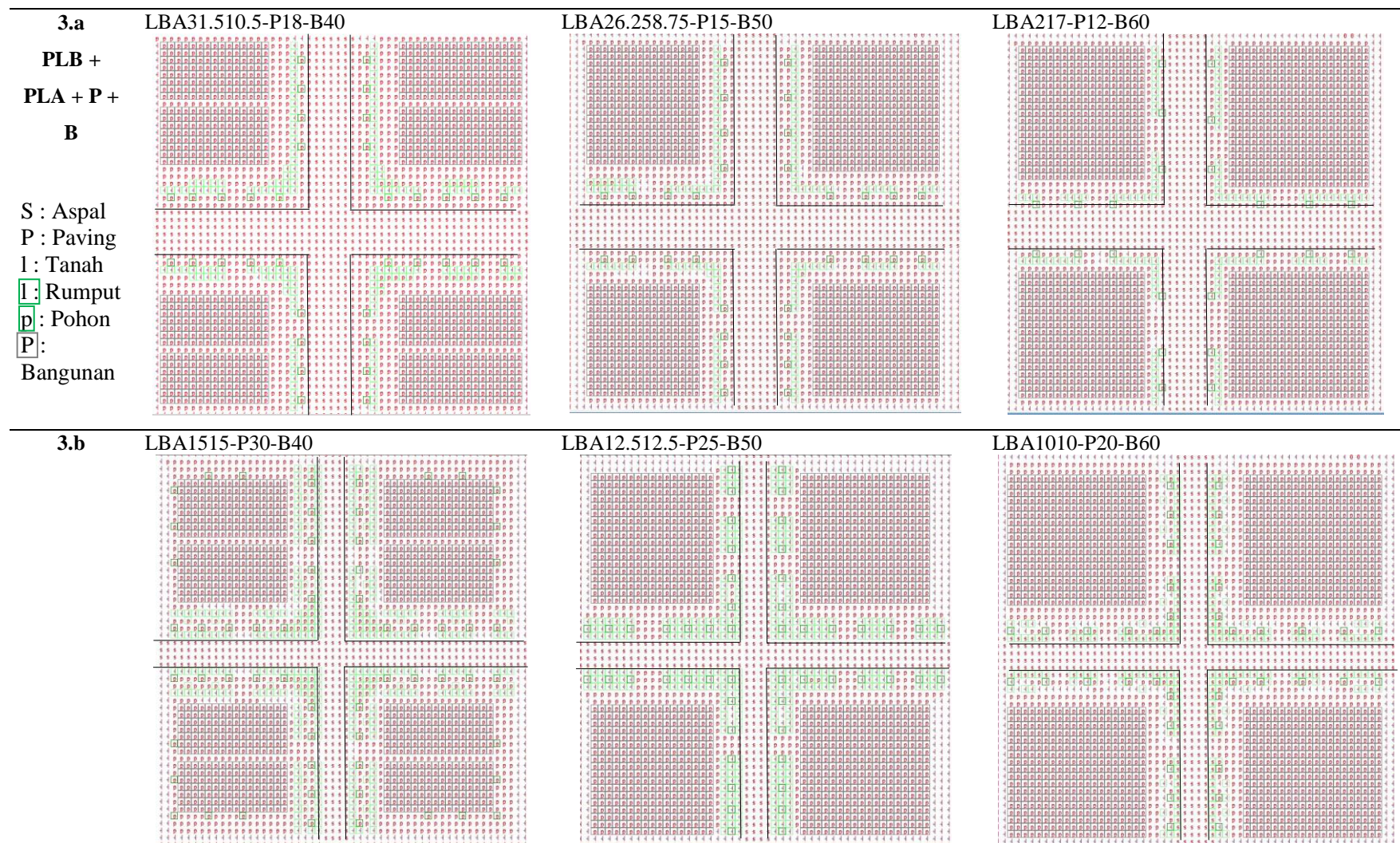
Tabel 6.10 Model Lansekap

Pengkondisian	Model Lansekap				Orientasi	H/W	Keterangan
	PLB	PLA	P	B			
<b>1</b> <b>PLB+PLA</b>					Utara – Selatan Timur – Barat		PLB : Penutup Lahan Buatan PLA : Penutup Lahan Alami P : Pohon B : Bangunan
LBA7525	75%	25%				0	
LBA5050	50%	50%					
LBA2575	25%	75%					
<b>2</b> <b>PLB+PLA+P</b>							
LBA52.517.5-P30	52.5%	17.5%	30%			0	
LBA37.512.5-P50	37.5%	12.5%	50%				
LBA22.57.5-P70	22.5%	7.5%	70%				
<b>3.a</b> <b>PLB+PLA+P+B</b>							
LBA31.510.5-P18-B40	31.5%	10.5%	18%	40%		1	
LBA26.258.75-P15-B50	26.25%	8.75%	15%	50%			
LBA217-P12-B60	21%	7%	12%	60%			
<b>b</b>							
LBA1515-P30-B40	15%	15%	30%	40%		2	
LBA12.512.5-P25-B50	12.5%	12.5%	25%	50%			
LBA1010-P20-B60	10%	10%	20%	60%			
<b>c</b>							
LBA4.513.5-P42-B40	4.5%	13.5%	42%	40%		0,6	
LBA3.7511.25-P35-B50	3.75%	11.25%	35%	50%			
LBA39-P28-B60	3%	9%	28%	60%			

Keterangan : LBA7525 artinya penutup lahan buatan terdiri dari 75% dan penutup lahan alami 25%







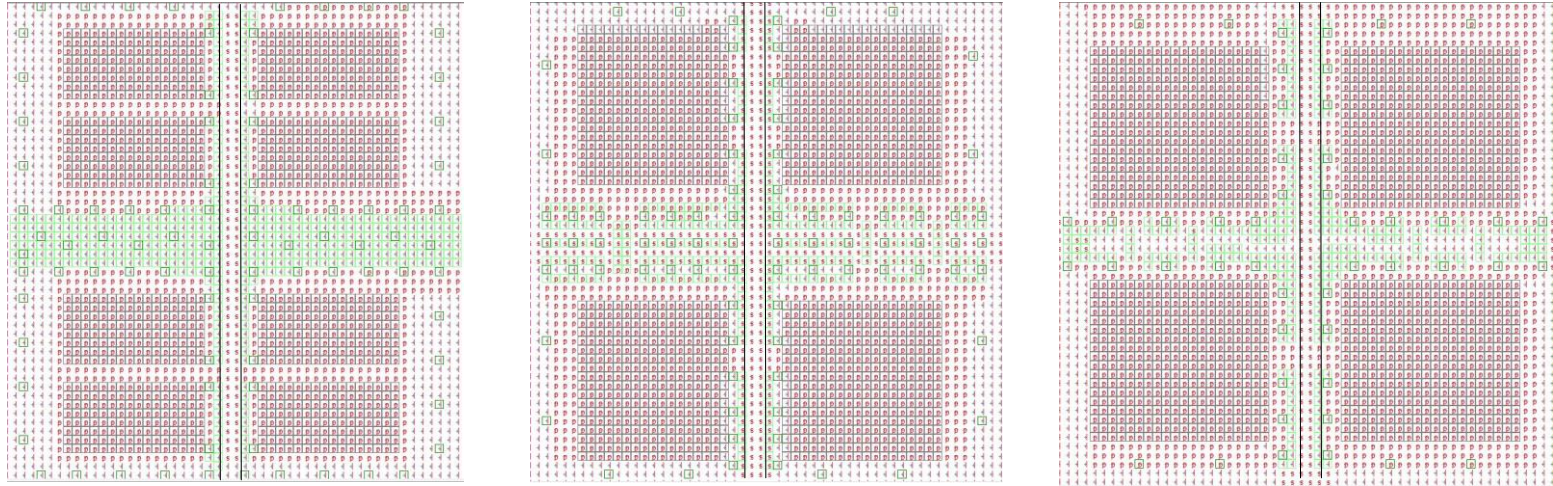


3.c

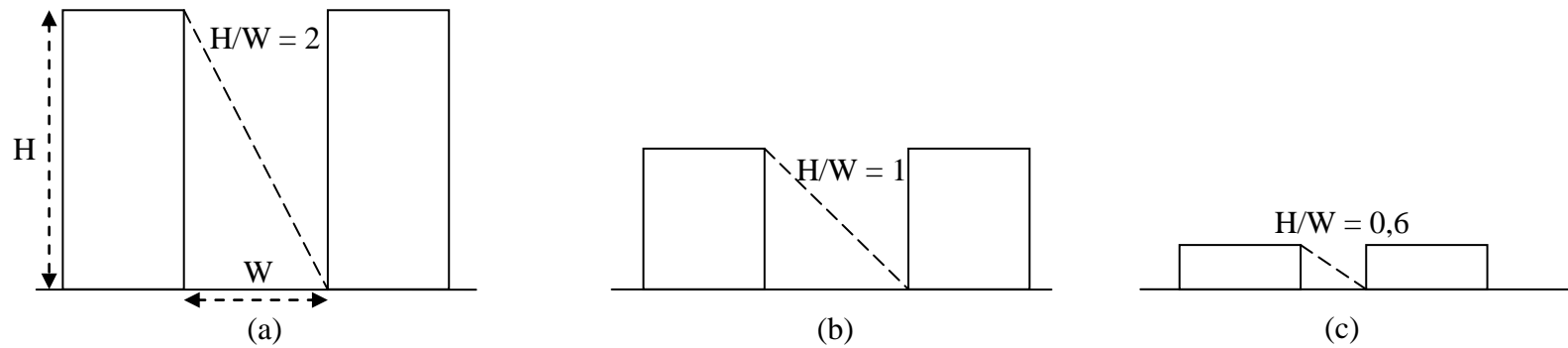
LBA4.513.5-P42-B40

LBA3.7511.25-P35-B50

LBA39-P28-B60



Gambar 6.21 Model Eksperimen



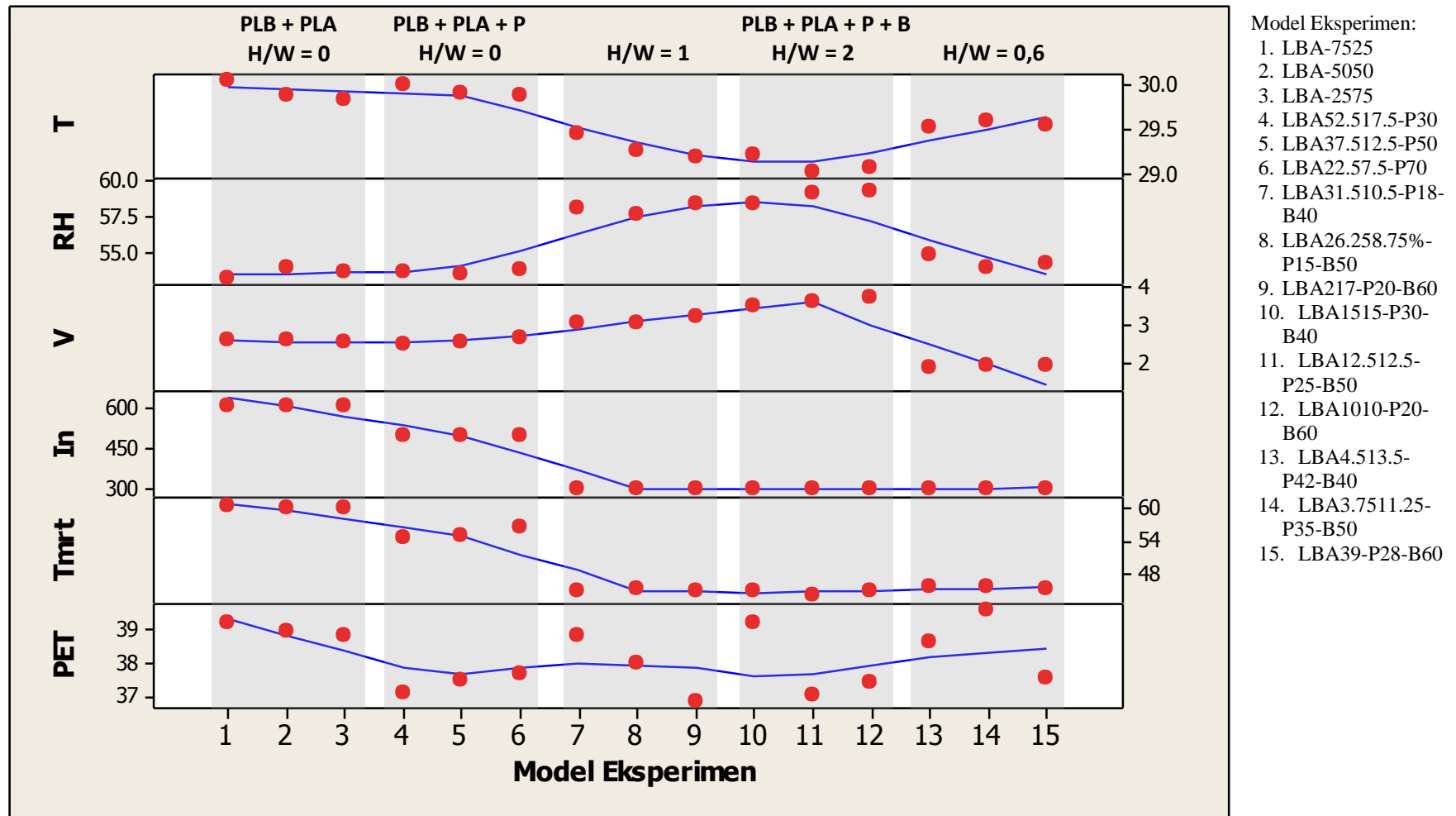
Gambar 6.23 Perbedaan Tinggi H/W pada model eksperimen PLB+PLA+P+B di pengkondisian (a) 3.b (b) 3.a (c)3.c

### 6.4.3 Hasil Eksperimen

Secara keseluruhan hasil eksperimen di setiap kelompok dengan masing-masing variasinya menunjukkan bahwa setiap penambahan penutup lahan alami (rumput dan tanah) maupun pohon menunjukkan temperatur yang lebih rendah. Namun apakah setiap penambahan persentase penutup lahan alami dan pohon tersebut dapat menurunkan temperatur udara secara efektif atau tidak (Gambar 6.24). Hal ini sejalan dengan Oke (1989) bahwa efek pendinginan untuk satu pohon atau kelompok sangat kecil pengaruhnya terhadap temperatur udara. Namun untuk wilayah yang lebih luas seperti taman dapat memiliki efek pendinginan yang lebih signifikan (Yu dan Hien, 2006).

Tabel 6.11 Persentase Penurunan dan Peningkatan Kondisi Iklim akibat modifikasi komponen penutup lahan Tipe Lansekap

Model lansekap	Komponen Penutup Lahan				Kondisi Termal (%)					
	PLB	PLA	P	B	T	RH	V	In	Tmrt	PET
<b>PLB+PLA</b>	75%	25%			<i>Basecase</i>					
	50%	50%			0.6	-1.7	1.1	0.2	0.3	0.6
	25%	75%			0.7	-0.9	3.1	0.0	0.3	1.0
<b>PLB+PLA + P</b>	52.5%	17.5%	30%		<i>Basecase</i>					
	37.5%	12.5%	50%		0.4	0.4	-2.0	0.0	-0.3	-1.1
	22.5%	7.5%	70%		0.5	-0.1	-7.2	0.6	-3.3	-1.6
<b>PLB + PLA + P + B</b>	31.50%	10.50%	18%	40%	<i>Basecase</i>					
	26.25%	8.75%	15%	50%	0.6	0.8	0.3	-0.3	-0.1	2.1
	21%	7%	12%	60%	0.9	-0.6	-5.5	-0.2	0.6	5.2
	15%	15%	30%	40%	<i>Basecase</i>					
	12.5%	12.5%	25%	50%	0.7	-1.3	-3.1	-0.1	2.0	5.6
	10%	10%	20%	60%	0.5	-1.7	-6.5	0.0	-0.2	4.6
	4.5%	13.5%	42%	40%	<i>Basecase</i>					
	3.75%	11.25%	35%	50%	-0.3	1.6	-2.1	-0.2	0.0	-2.6
	3%	9%	28%	60%	-0.1	1.3	-3.2	-0.2	0.3	2.8



Gambar 6.24 Kondisi Iklim Mikro rata-rata di setiap Model Eksperimen Berdasarkan Modifikasi Persentase Komponen Penutup Lahan

Penurunan temperatur udara yang cukup besar terlihat ketika adanya peningkatan penutup lahan alami sebesar 30% dapat menurunkan temperatur udara 0,9%. Namun untuk dapat menciptakan kenyamanan termal ruang luar PET, dengan penambahan pohon 50% lebih efektif dalam menurunkan temperatur PET sebesar 5,6%. Sementara jika penambahan pohon sebesar 70% pada suatu tipe lansekap malah dapat meningkatkan temperatur udara 0,3% dan dapat menciptakan ketidaknyamanan termal ruang luar dengan peningkatan temperatur PET 2,6% (Tabel 6.11).

Untuk lebih jelas dan detail komponen penutup lahan apa yang paling berpengaruh efektif dalam menurunkan temperatur udara, dijelaskan satu persatu berdasarkan pengkondisian kelompok penutup lahan dengan masing-masing variasi, sebagai berikut :

1. Hasil eksperimen: Pengkondisian Penutup Lahan Buatan (Aspal dan Paving) dan Penutup Lahan Alami (Rumput dan Tanah)

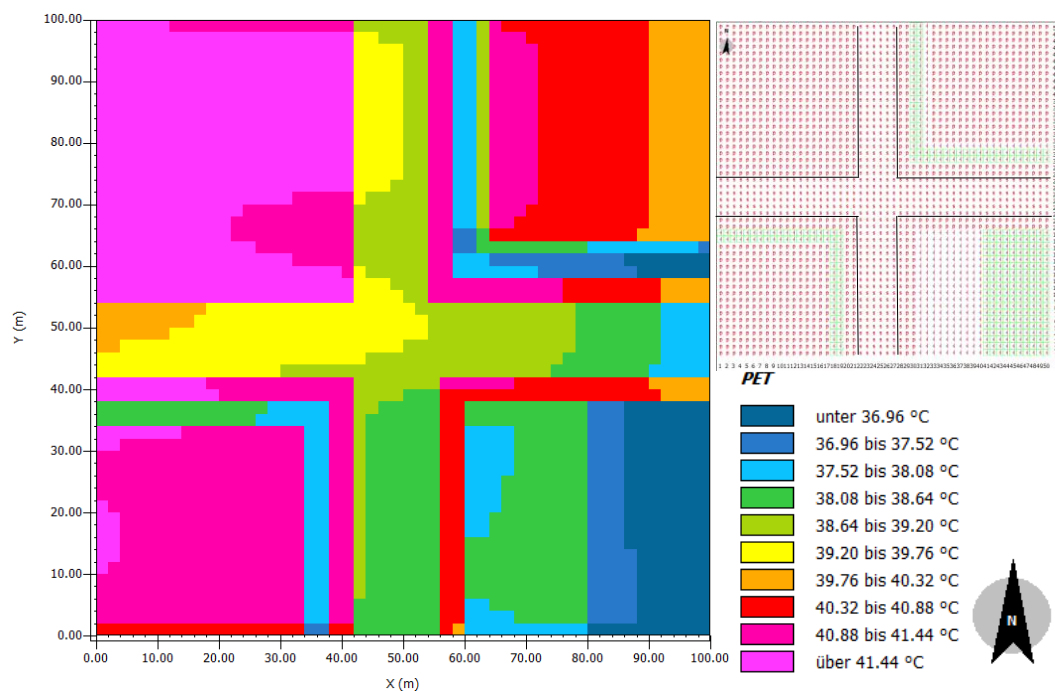
Tipe LBA7525 sebagai *basecase*. Tipe ini hanya terdiri dari komponen penutup lahan buatan (aspal dan paving) dan lahan alami (rumput dan tanah), dengan komposisi 75% dan 25%. Dengan persentase penutup lahan yang dominan tipe ini memiliki temperatur udara rata-rata cukup tinggi yaitu 30,06 °C dan kenyamanan termal PET sebesar 39,20 °C. Hal ini disebabkan oleh tidak adanya penghalang intensitas radiasi matahari secara langsung terhadap permukaan penutup lahan, sehingga panas yang ada langsung diserap dan dipantulkan kembali oleh penutup lahan, tetapi tergantung dari jenis penutup lahannya. Sebagaimana Oke (1982) menjelaskan bahwa setiap tutupan lahan tersebut memiliki sifat radiasi, termal, sifat kelembaban yang akan mempengaruhi lingkungan termal lokal yang berbeda-beda. Tipe ini didominasi oleh penutup lahan buatan, dimana aspal dan paving memiliki daya serap yang tinggi sekitar 85-95%, sementara rumput dan tanah hanya 70-85% (Lippsmeier, 1994), sehingga dapat meningkatkan temperatur udara. Namun, kecepatan angin yang cenderung tinggi 2,62 m/s belum mampu untuk menghapus panas yang ada, penerimaan intensitas radiasi matahari yang relatif besar dan panjang sepanjang hari (Gambar 6.25).



Tabel 6.12 Kondisi Termal pada pengkondisian 1. PLB+PLA

Kondisi Termal		Model Lansekap – Komponen Penutup Lahan				Selisih Terhadap <i>Basecase</i>	
		PLB	75%	50%	25%	<i>Basecase</i> – LBA5050	<i>Basecase</i> – LBA2575
		PLA	25%	50%	75%		
		P	0%	0%	0%		
		B	0%	0%	0%		
Temperatur Udara (T °C)	Modus		29.28	29.10	29.12	0.18	0.16
	Min		29.22	29.05	28.96	0.17	0.26
	Maks		30.89	30.72	30.71	0.17	0.18
	Rata-rata		30.06	29.88	29.84	0.18	0.22
Kelembaban Udara (RH %)	Modus		53.28	55.35	56.34	-2.07	-3.06
	Min		49.28	50.09	49.43	-0.81	-0.15
	Maks		57.03	57.96	57.81	-0.93	-0.78
	Rata-rata		53.15	54.03	53.62	-0.88	-0.47
Kecepatan Angin (V m/s)	Modus		2.82	2.84	2.75	-0.02	0.07
	Min		2.33	2.28	2.21	0.05	0.12
	Maks		2.91	2.89	2.88	0.02	0.03
	Rata-rata		2.62	2.59	2.54	0.03	0.08
Intesitas Radiasi Matahari (Ig Watt/m2)	Modus		604.90	603.87	604.65	1.03	0.25
	Min		604.90	603.87	604.65	1.03	0.25
	Maks		613.90	612.87	613.65	1.03	0.25
	Rata-rata		609.90	608.87	609.65	1.03	0.25
Temperatur radiasi matahari (Tmrt °C)	Modus		64.23	59.36	59.35	4.87	4.88
	Min		56.52	56.32	56.32	0.20	0.20
	Maks		64.49	64.36	64.30	0.13	0.19
	Rata-rata		60.52	60.34	60.31	0.18	0.21
<i>Physiologically Equivalent Temperature (PET °C)</i>	Modus		41.36	41.33	37.72	0.03	3.64
	Min		36.40	36.10	36.00	0.30	0.40
	Maks		42.00	41.80	41.60	0.20	0.40
	Rata-rata		39.20	38.95	38.80	0.25	0.40

Keterangan :  *Basecase*

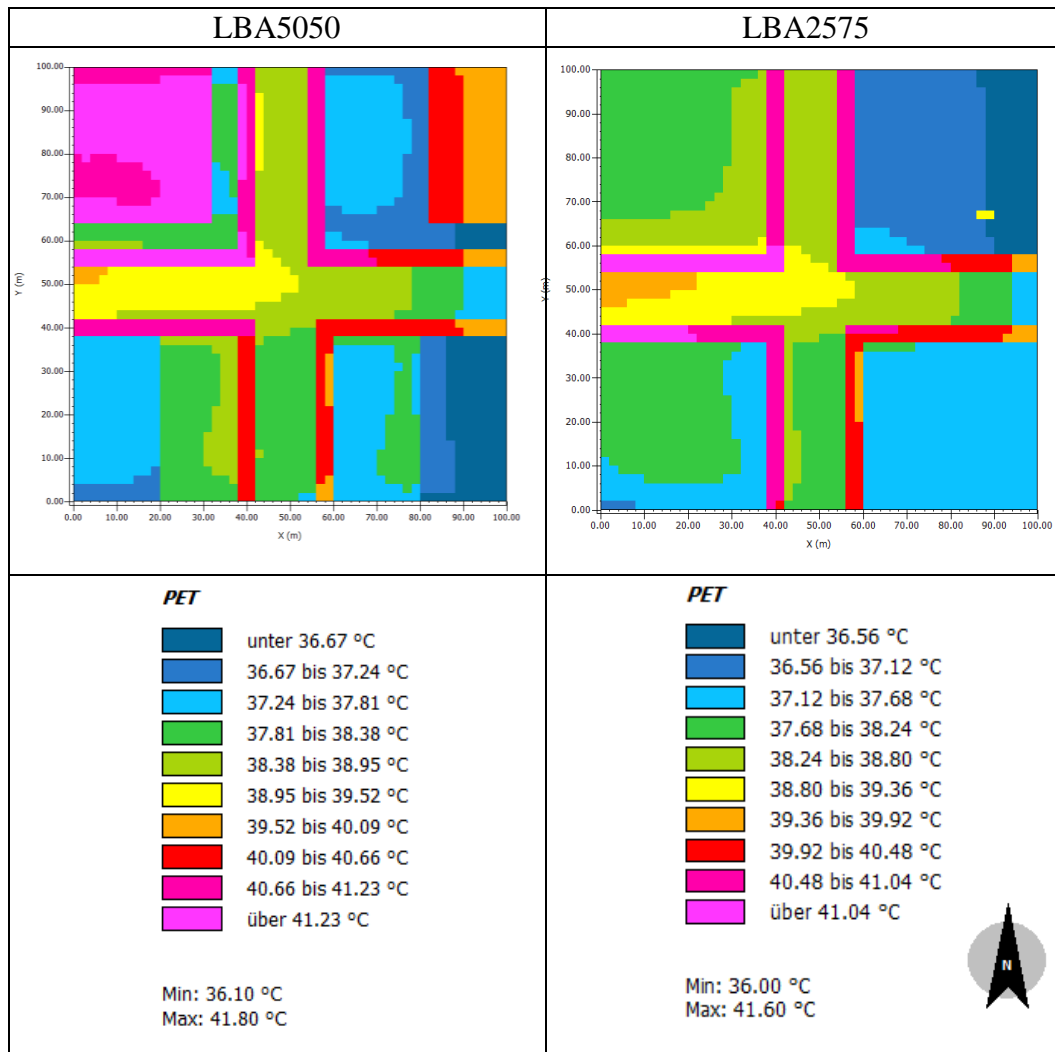


Gambar 6.25 Sebaran Nilai PET di Tipe Lansekap LBA7525

Hasil eksperimen pengkondisian PLB dan PLA menunjukkan bahwa semakin tinggi persentase penutup lahan buatan dibanding alami menunjukkan semakin tinggi juga temperatur udara. Begitu juga untuk kondisi elemen iklim lainnya (Tabel 6.12). Hal ini sejalan dengan penelitian-penelitian sebelumnya. Peningkatan persentase 50% PLA lebih efektif menurunkan temperatur udara dibandingkan 25%PLA yaitu sebesar 0,7% dengan perbedaan 0,2 K. Demikian juga nilai PET yaitu sebesar 1% dengan perbedaan 0,4 K (Gambar 6.26). Jika ditinjau dari konfigurasi, pada pengkondisian ini perletakan untuk masing-masing penutup lahan tidak begitu mempengaruhi.

Berdasarkan hasil di atas dapat disimpulkan bahwa pada pengkondisian yang hanya terdiri dari penutup lahan berupa aspal, paving, rumput dan tanah (tidak ada bentuk 3 dimensi) yang paling berpengaruh adalah komposisi lansekap yaitu berupa persentase dari masing-masing penutup lahan dibandingkan konfigurasi lansekap. Hal ini dipengaruhi oleh sifat radiasi dan termal dari masing-masing penutup lahan terkait dengan albedo permukaan penutup lahan. Arnfield (2003) dalam Johansson, 2006 dan Lun dkk (2009) mendeskripsikan bahwa sifat termal dan radiasi dari komponen penutup lahan sangat

mempengaruhi iklim perkotaan. Andreou (2013) menjelaskan pengaruh albedo permukaan sangat besar pada nilai H/W yang rendah dibandingkan nilai H/W yang tinggi.



Gambar 6.26 Perbedaan peningkatan Persentase 50%PLA lebih efektif menurunkan nilai PET 1% (0,4 K) dibandingkan 25%PLA (0,6%)

## 2. Hasil eksperimen: Pengkondisian Penutup Lahan Buatan (Aspal dan Paving) dan Penutup Lahan Alami (Rumput dan Tanah) + Pohon

Pada pengkondisian tipe lansekap ini, selain dipengaruhi oleh sifat termal dari masing-masing komponen penutup lahan, konfigurasi lansekap mulai berperan dalam mempengaruhi kondisi iklim mikro, yaitu perletakan pohon. Apakah pohonnya berdiri sendiri atau berkelompok dan terletak di orientasi mana.

Tabel 6.13 Kondisi Termal pada pengkondisian 2. PLB+PLA+P

kondisi Termal		Model Lansekap – Komponen Penutup Lahan				Selisih Terhadap <i>Basecase</i>	
		PLB	52.5%	37.5%	22.5%	<i>Basecase</i> – LBA37.5 12.5P50	<i>Basecase</i> – LBA22.5 7.5P70
		PLA	17.5%	12.5%	7.5%		
		P	30%	50%	70%		
		B	0%	0%	0%		
Temperatur Udara (T °C)	Modus		30.24	30.18	30.11	0.06	0.13
	Min		29.18	29.05	29.02	0.13	0.16
	Maks		30.83	30.76	30.74	0.07	0.09
	Rata-rata		30.03	29.91	29.88	0.12	0.15
Kelembaban Udara (RH %)	Modus		56.74	52.12	52.42	4.62	4.32
	Min		49.94	49.90	50.21	0.04	-0.27
	Maks		57.55	57.19	57.43	0.36	0.12
	Rata-rata		53.74	53.54	53.82	0.20	-0.08
Kecepatan Angin (V m/s)	Modus		2.83	2.82	2.83	0.01	0.00
	Min		2.11	2.18	2.41	-0.07	-0.30
	Maks		2.89	2.92	2.95	-0.03	-0.06
	Rata-rata		2.50	2.55	2.68	-0.05	-0.18
Intesitas Radiasi Matahari (Ig Watt/m2)	Modus		600.70	600.57	599.96	0.13	0.74
	Min		392.95	392.82	387.84	0.13	5.11
	Maks		603.67	603.47	602.77	0.20	0.90
	Rata-rata		498.31	498.15	495.31	0.16	3.00
Temperatur radiasi matahari (Tmrt °C)	Modus		63.93	63.83	63.89	0.10	0.04
	Min		45.18	45.49	48.88	-0.31	-3.70
	Maks		64.29	64.34	64.19	-0.05	0.10
	Rata-rata		54.73	54.91	56.53	-0.18	-1.80
<i>Physiologically Equivalent Temperature (PET °C)</i>	Modus		38.18	38.97	39.07	-0.79	-0.89
	Min		32.31	32.90	33.47	-0.59	-1.16
	Maks		41.68	41.80	41.97	-0.12	-0.29
	Rata-rata		37.05	37.44	37.63	-0.39	-0.58

Keterangan :  *Basecase*

Hal ini berpengaruh pada perolehan pembayangan dan perolehan kecepatan angin. Sebagaimana penelitian Obi (2014) menjelaskan bahwa vegetasi berpengaruh terhadap kenyamanan termal dengan memperhatikan pola tata letak pohon. Abreu-Harbich dkk (2015) menjelaskan bahwa perletakan pohon secara individu di sepanjang jalan lebih efektif menurunkan temperatur udara

dibandingkan dengan perletakan pohon secara kelompok. Namun, untuk dapat meningkatkan efek pendinginan, pohon cluster (berkelompok) lebih baik dari satu pohon dengan catatan harus bisa menghasilkan pembayangan yang luas. Hasil penelitian ini juga menunjukkan hal yang serupa yaitu penempatan di koridor jalan menunjukkan temperatur yang lebih rendah dibandingkan kelompok. Perbedaan temperatur udara sebesar 1,14 K. Demikian juga dari hasil simulasi dari kondisi eksisting (Subbab 5.2.5).

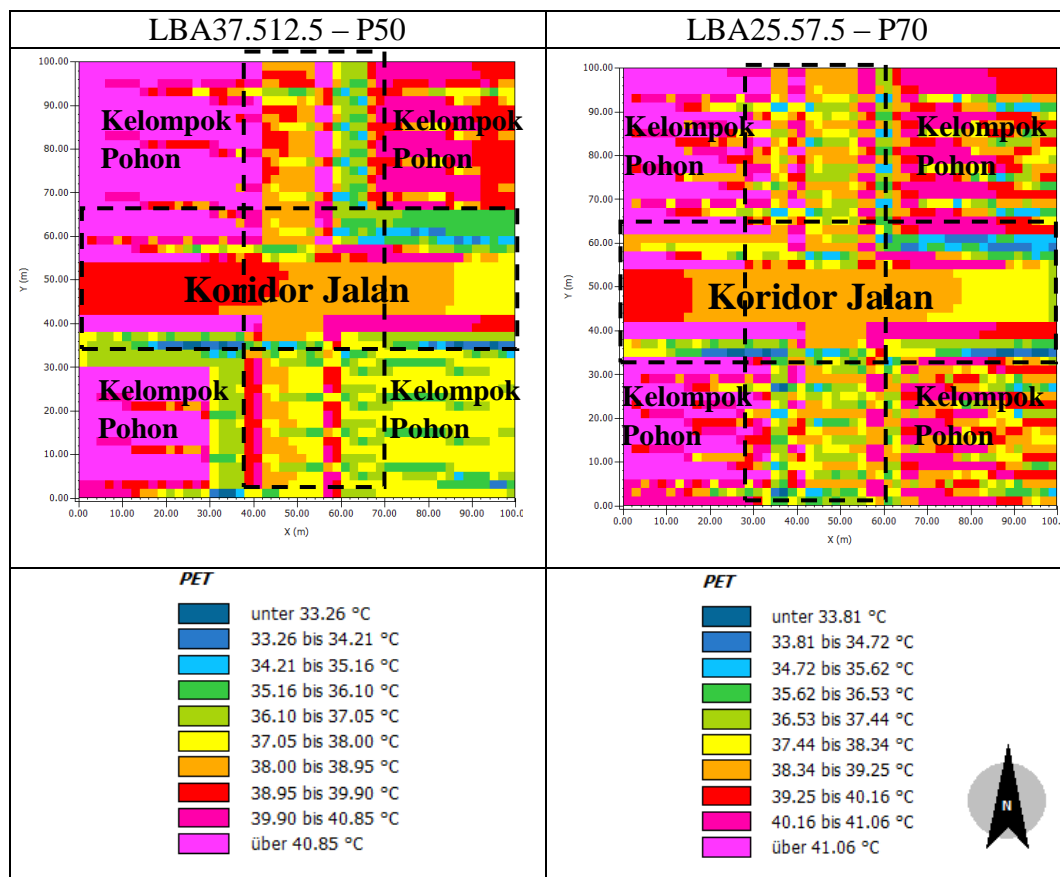
Namun, berbanding terbalik dengan nilai PET. Peningkatan persentase pohon pada tipe lansekap berupa hamparan penutup lahan buatan (aspal+paving) dan alami (rumput+tanah) dapat meningkatkan nilai PET (Gambar 6.26). Gambar 6.27 menunjukkan distribusi nilai PET pada penambahan Persentase pohon 50% dan 70%. Hal ini mulai dipengaruhi oleh efek kecepatan angin, kelembaban udara dan temperatur radiasi matahari ( $T_{mrt}$ ) serta komponen penutup lahan yang berada di bawah bayangan pohon. Perbedaan nilai PET mencapai 3,62 K.

Sebagaimana Ali-Toudert dan Mayer (2007) menjelaskan adanya efek negatif dari vegetasi di iklim hangat, yaitu pohon dapat memblokir angin dengan mengurangi kecepatan angin sebesar 30-40%. Pohon dengan kanopi yang besar juga dapat mengurangi pendinginan nocturnal karena dapat memblokir beberapa radiasi dari penutup lahan yang berada di bawah pohon. Menurut Ulysse (2001), daun pohon dapat memblokir 20% dari radiasi matahari, 55% yang diserap dan 25% yang dipantulkan kembali, dengan demikian bahwa proses penguapan oleh pohon tersebut yang dapat meningkatkan kelembaban udara. Namun perlu ditekankan bahwa setiap jenis pohon akan memiliki cara tersendiri dalam mendinginkan temperatur udara, tergantung dari perletakan pohon tersebut.

Berdasarkan hasil analisa di atas, dapat disimpulkan bahwa dalam satu tipe lansekap yang terdiri dari penutup lahan aspal, paving, rumput dan tanah + pohon, tidak hanya komposisi lansekap saja yang berpengaruh, melainkan konfigurasi lansekap dan pembayangan juga sangat berpengaruh terhadap kondisi iklim mikro. Hasil eksperimen menunjukkan bahwa penambahan persentase pohon 70% lebih efektif menurunkan temperatur udara sebesar 0,5% (0,15 K) dibandingkan penambahan persentase pohon 50% (0,4% = 0,1 K). Namun berbanding terbalik dengan kenyamanan termal ruang luar PET. Penambahan persentase 30%

menunjukkan yang paling efektif meningkatkan kenyamanan termal ruang luar PET yaitu sebesar 5,5% (0,55 K). Hal ini disebabkan kenyamanan termal PET sudah mencakup dan memperhitungkan semua kondisi elemen iklim lainnya.

Penambahan persentase pohon ini juga mempengaruhi terhadap nilai PET rata-rata dan modus dalam satu tipe lansekap. Nilai PET rata-rata menunjukkan lebih rendah dibandingkan nilai PET modus (nilai yang paling banyak muncul) (Tabel 6.13). Hal ini dipengaruhi oleh terhalangnya penerimaan radiasi matahari secara langsung oleh pohon.



Gambar 6.27 Perbedaan peningkatan nilai PET pada peningkatan Persentase pohon 50% dan 70%

### 3. Hasil eksperimen: Pengkondisian Penutup Lahan Buatan (Aspal dan Paving) dan Penutup Lahan Alami (Rumput dan Tanah) + Pohon + Bangunan

Jika tipe lansekap yang terdiri dari penutup lahan buatan, alami dan pohon ditambah dengan kepadatan bangunan malah dapat menurunkan temperatur udara dan nilai PET (Tabel 6.14 – 6.16). Hal ini dipengaruhi oleh adanya

peningkatan jumlah persentase pembayangan yaitu dari pohon dan bangunan. Pada pengkondisian tipe sebelumnya, pembayangan hanya diperoleh dari pohon. Penambahan persentase bangunan dalam suatu tipe lansekap, secara tidak langsung akan menjelaskan nilai H/W dan orientasi. Secara teori bahwa peningkatan nilai H/W akan dapat menurunkan temperatur udara (Rose, 2011; Ahmed dalam Jamei dkk, 2016).

Tabel 6.14 Kondisi Termal pada pengkondisian 3a. PLB+PLA+P+B

kondisi Termal		Model Lansekap – Komponen Penutup Lahan				Selisih dengan <i>Basecase</i>	
		PLB	31.50%	26.25%	21%	<i>Basecase</i> – LBA26.5 8.75P15 B50	<i>Basecase</i> – LBA217 P12B60
		PLA	10.50%	8.75%	7%		
		P	18%	15%	12%		
		B	40%	50%	60%		
Temperatur Udara (T °C)	Modus		29.18	29.02	28.93	0.16	0.25
	Min		28.71	28.55	28.50	0.16	0.21
	Maks		30.17	29.97	29.83	0.20	0.34
	Rata-rata		29.44	29.26	29.17	0.18	0.27
Kelembaban Udara (RH %)	Modus		58.96	58.52	59.11	0.44	-0.15
	Min		54.29	53.66	54.34	0.63	-0.05
	Maks		62.00	61.68	62.60	0.32	-0.60
	Rata-rata		58.14	57.67	58.47	0.47	-0.33
Kecepatan Angin (V m/s)	Modus		3.74	3.90	3.97	-0.16	-0.23
	Min		0.03	0.06	0.07	-0.03	-0.04
	Maks		6.13	6.08	6.43	0.05	-0.30
	Rata-rata		3.08	3.07	3.25	0.01	-0.17
Intesitas Radiasi Matahari (Ig Watt/m2)	Modus		586.53	588.49	587.51	-1.96	-0.98
	Min		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	Maks		592.60	594.64	593.73	-2.04	-1.13
	Rata-rata		296.30	297.32	296.86	-1.02	-0.56
Temperatur radiasi matahari (T <sub>mrt</sub> °C)	Modus		58.28	57.65	57.76	0.63	0.52
	Min		23.32	23.17	23.20	0.15	0.12
	Maks		66.42	66.63	66.00	-0.21	0.42
	Rata-rata		44.87	44.90	44.60	-0.03	0.27
<i>Physiologically Equivalent Temperature</i> (PET °C)	Modus		35.36	35.17	34.73	0.19	0.63
	Min		23.40	23.40	23.20	0.00	0.20
	Maks		53.20	52.60	50.40	0.60	2.80
	Rata-rata		38.30	38.00	36.80	0.30	1.50

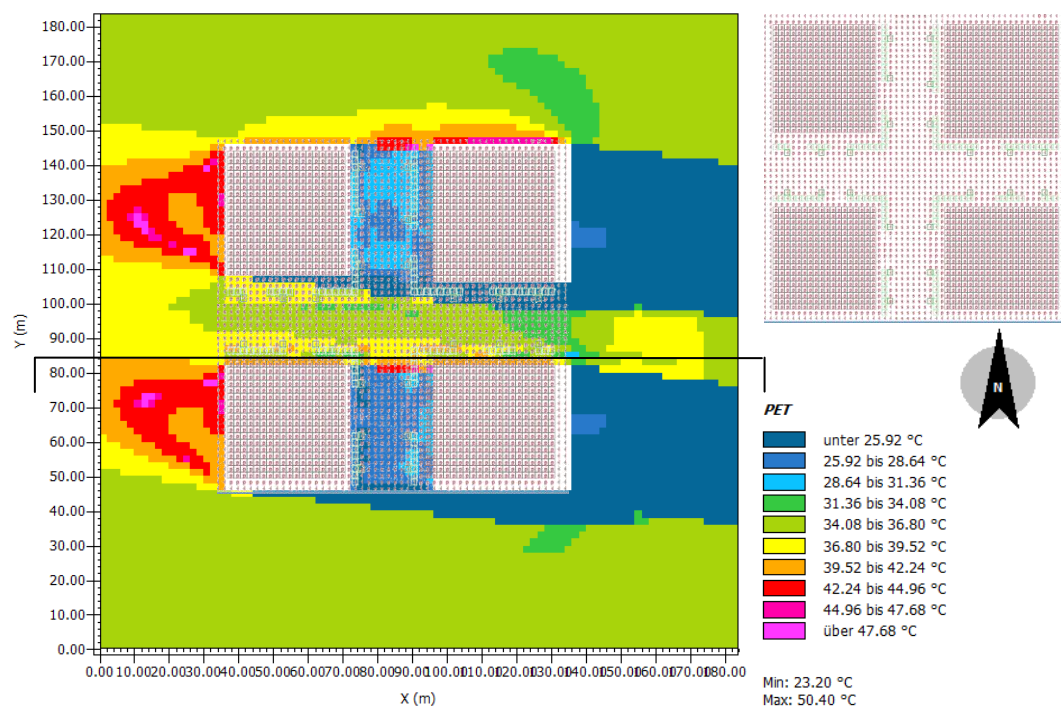
Keterangan :  *Basecase*

Dimana pembayangan yang dihasilkan dijelaskan sebagai alasan utama dalam menurunkan nilai PET yaitu dapat meningkatkan kenyamanan termal ruang luar (Emmanuel dkk, 2007). Sementara orientasi jalan merupakan salah satu parameter penting yang menentukan perolehan radiasi matahari dan kecepatan angin yang mempengaruhi kenyamanan termal ruang luar di trotoar (koridor jalan) (Givoni, 1998; Yang dkk, 2013).

Eksperimen pada pengkondisian 3 ini, persentase penutup lahan yang ada akan mempengaruhi nilai H/W yaitu terdiri dari tipe lansekap dengan H/W =1 (3.a), H/W = 2 (3.b) dan H/W = 0,6 (3.c). Adapun penjelasannya sebagai berikut:

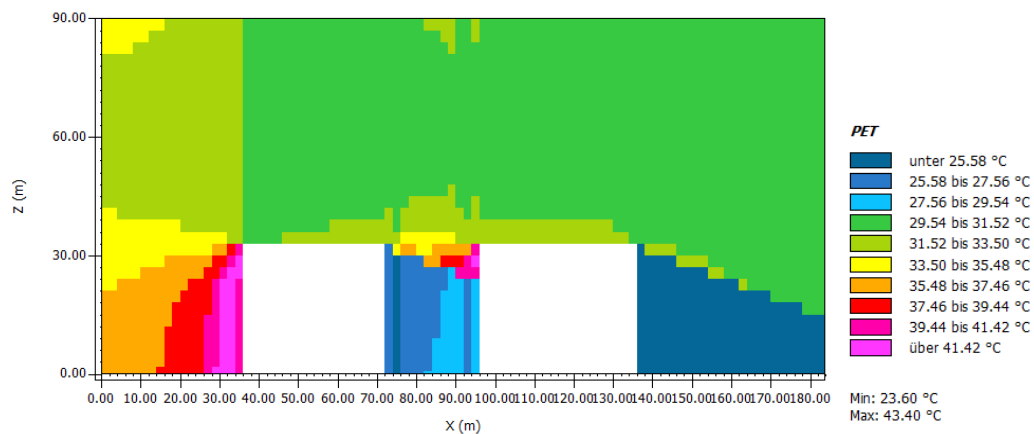
- Pengkondisian model eksperimen 3.a

Pengkondisian 3.a ini merupakan tipe lansekap yang didominasi 70% LBA dan 30% P (pohon) dengan kepadatan bangunan 40%, 50% dan 60%. Tipe lansekap LBA31.510.5-P18-B40 sebagai *basecase* yang memiliki temperatur udara rata-rata 29,44 °C. Persentase penurunan temperatur udara dan nilai PET yang paling tinggi terhadap *basecase* pada terlihat pada tipe lansekap LBA217-P12-B60 dengan nilai H/W 1 yaitu sebesar 0,9% = 0,34 K (Temperatur udara) dan 5,2% = 1,5 K (PET) (Gambar 6.28).



(a)



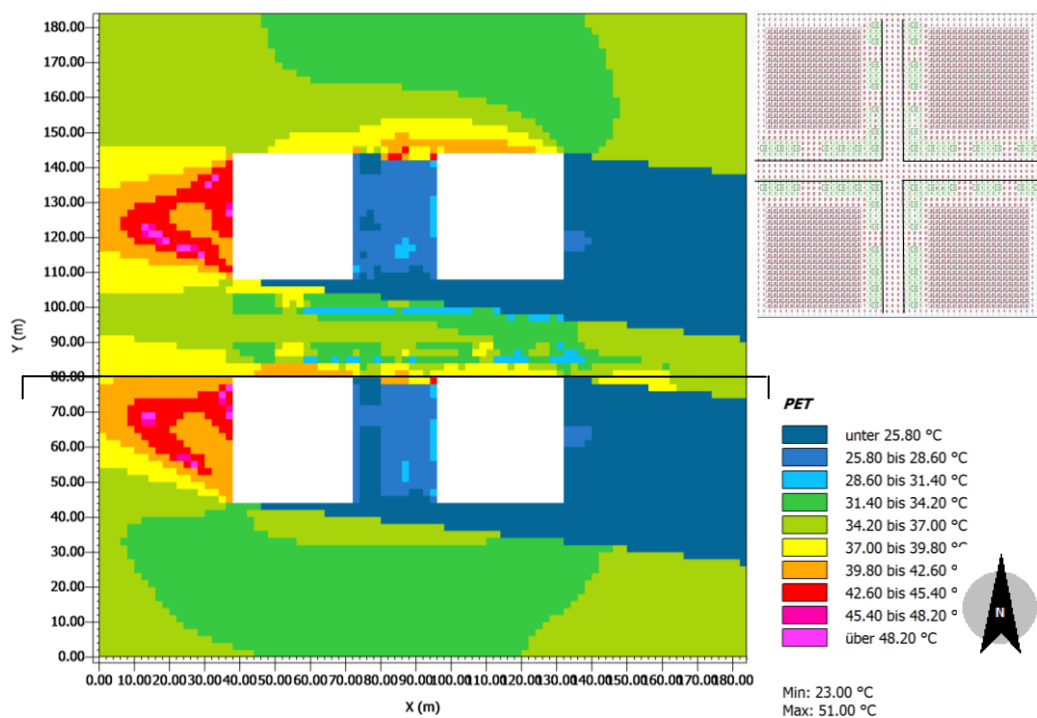


(b)

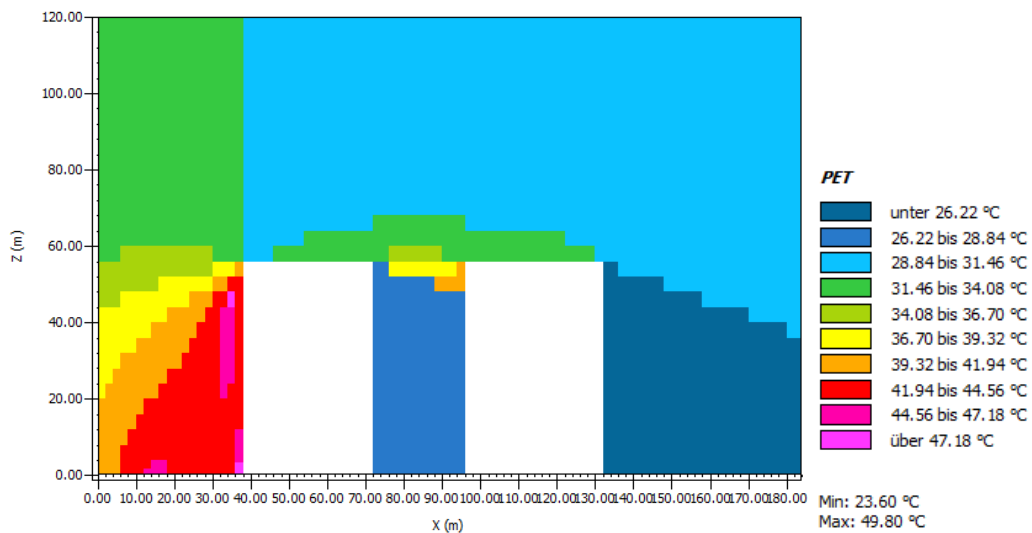
Gambar 6.28 Tipe lansekap LBA217-P12-B60 dengan penambahan pohon 30% yang paling efektif menciptakan kenyamanan termal ruang luar (a) potongan horizontal (b) potongan vertikal.

- Pengkondisian model eksperimen 3.b

Sementara tipe lansekap dengan penambahan LBA 50% dan pohon 50%, tipe lansekap LBA12.512.5-P25-B50 dengan  $H/W = 2$  lebih efektif menurunkan temperatur udara dan kenyamanan termal PET yaitu sebesar 0,7% (0,21 K) dan 5,6% (2,2 K) (Gambar 6.29). Hal ini menunjukkan bahwa peningkatan nilai  $H/W$  dapat menurunkan temperatur udara dan nilai PET.



(a)



(b)

Gambar 6.29 Tipe lansekap LBA12.512.5-P25-B50 yang paling Efektif menurunkan Temperatur Udara pada Penambahan Pohon 50% (a) potongan horizontal (b) potongan vertikal.

- Pengkondisian model eksperimen 3.c

Namun ada yang berbeda dengan pengkondisian kelompok tipe lansekap 3.c yang didominasi oleh persentase penutup lahan buatan + bangunan dibandingkan penutup lahan alami + pohon. Semakin tinggi persentase penutup lahan buatan + bangunan dapat meningkatkan nilai temperatur udara dan PET (Tabel 6.16). Besar kecilnya persentase penutup lahan buatan akan mempengaruhi nilai H/W. Semakin kecilnya persentase penutup lahan buatan, mempengaruhi nilai H/W yang juga semakin kecil. Pada pengkondisian tipe lansekap 3.c memiliki nilai H/W 0,6. Dengan demikian juga mempengaruhi perolehan persentase pembayangan dari bangunan yang semakin kecil, sehingga dapat meningkatkan temperatur udara dan PET. Shashua-Bar dkk (2004) menemukan bahwa jarak antar bangunan yang lebar dengan  $H/W < 0,5$  dapat menyebabkan peningkatan temperatur udara dan dapat meningkatkan penerimaan radiasi matahari.

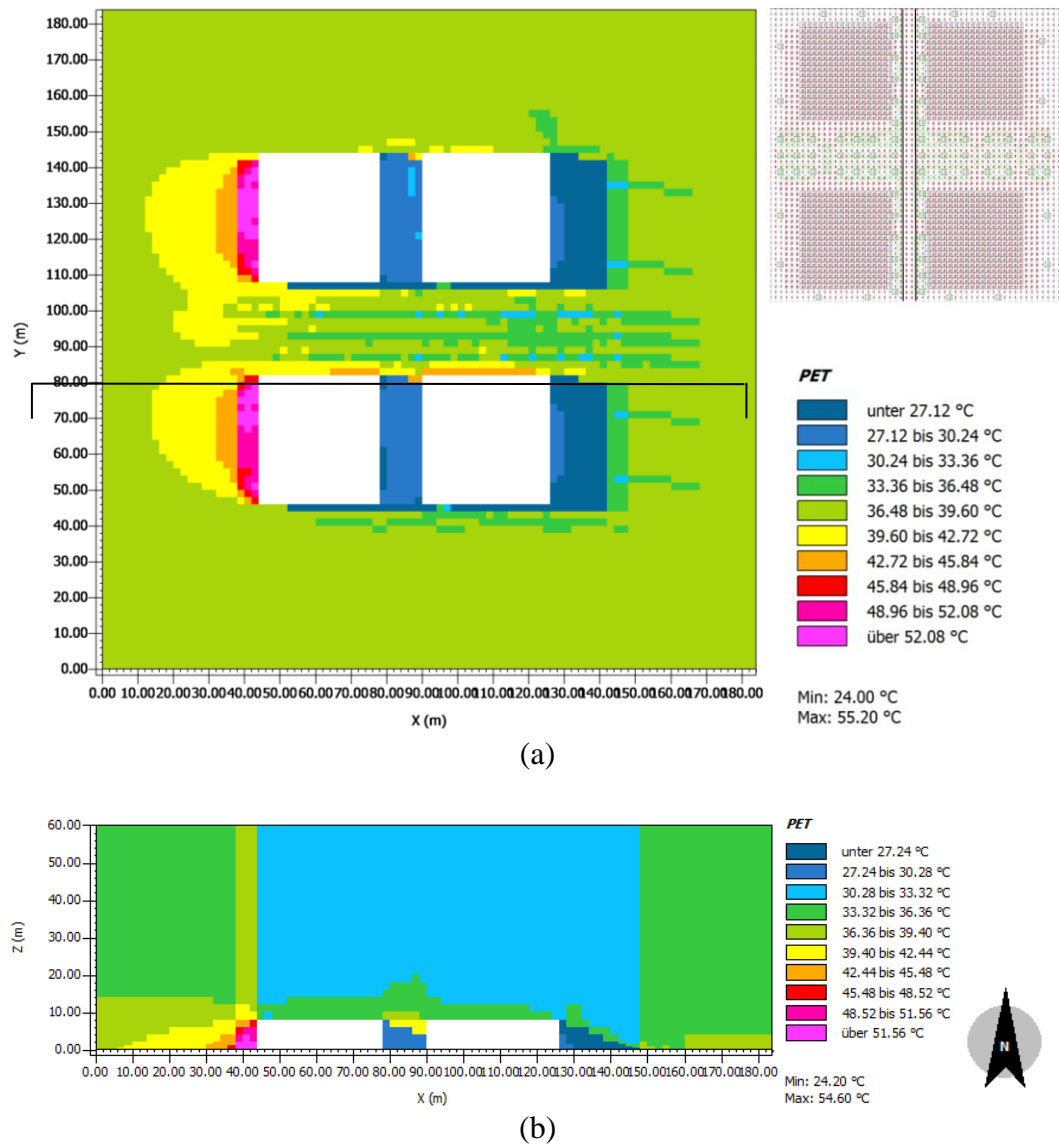
Penambahan pohon 70% pada bangunan berkepadatan 50% malah dapat meningkatkan temperatur udara (0,3%) dan nilai PET (2,6%) dibandingkan pada *basecase* (LBA4.513.5-P42-B40) yang berkepadatan bangunan 40% yaitu sebesar 0,1 – 0,6 K. (Gambar 6.30). Artinya semakin banyak permukaan penutup lahan di satu tipe lansekap terpapar radiasi matahari langsung yang dapat meningkatkan temperatur udara sekitar dan mengakibatkan efek pulau panas perkotaan (UHI).

Tabel 6.15 Kondisi Termal pada pengkondisian 3b. PLB+PLA+P+B

kondisi Termal		Model Lansekap – Komponen Penutup Lahan				Selisih dengan <i>Basecase</i>	
		PLB	15%	12.5%	10%	<i>Basecase</i>	<i>Basecase</i>
		PLA	15%	12.5%	10%	–	–
		P	30%	25%	20%	LBA12.5	LBA10
		B	40%	50%	60%	12.5P25 B50	10P20 B60
Temperatur Udara (T °C)	Modus		29.16	28.91	28.90	0.25	0.26
	Min		28.64	28.45	28.44	0.19	0.2
	Maks		29.72	29.49	29.61	0.23	0.11
	Rata-rata		29.18	28.97	29.02	0.21	0.16
Kelembaban Udara (RH %)	Modus		55.78	62.71	56.11	-6.93	-0.33
	Min		55.08	55.71	55.72	-0.63	-0.64
	Maks		62.67	63.56	64.13	-0.89	-1.46
	Rata-rata		58.87	59.63	59.92	-0.76	-1.05
Kecepatan Angin (V m/s)	Modus		4.48	4.67	4.68	-0.19	-0.2
	Min		0.01	0.03	0.03	-0.02	-0.02
	Maks		7.01	7.23	7.44	-0.22	-0.43
	Rata-rata		3.51	3.63	3.74	-0.12	-0.23
Intesitas Radiasi Matahari (Ig Watt/m2)	Modus		584.08	584.57	584.08	-0.49	0
	Min		0.00	0.00	0.00	0	0
	Maks		590.19	590.62	590.08	-0.43	0.11
	Rata-rata		295.10	295.31	295.06	-0.21	0.04
Temperatur radiasi matahari (T <sub>mrt</sub> °C)	Modus		58.17	58.13	58.10	0.04	0.07
	Min		23.20	23.09	23.14	0.11	0.06
	Maks		66.11	64.40	66.41	1.71	-0.3
	Rata-rata		44.66	43.75	44.77	0.91	-0.11
<i>Physiologically Equivalent Temperature (PET °C)</i>	Modus		34.18	33.79	33.57	0.39	0.61
	Min		23.30	23.00	23.00	0.3	0.3
	Maks		55.40	51.20	52.00	4.2	3.4
	Rata-rata		39.30	37.10	37.50	2.2	1.8

Keterangan :  *Basecase*

Kondisi tersebut menciptakan ketidaknyamanan ruang luar, ditambah dengan rendahnya kecepatan angin yang ada dibandingkan dengan tipe lansekap lainnya. Keuntungan dari bayangan yang diperoleh dari bangunan yaitu dapat menurunkan suhu permukaan penutup lahan yang berada di bawah bayangan dari bangunan. Hal ini terkait sifat termal bahan dan efek albedo.



Gambar 6.30 Tipe lansekap LBA3.7511.25-P35-B50 yang dapat Meningkatkan Temperatur Udara pada Penambahan Pohon 70% (a) Potongan Horizontal (b) Potongan Vertikal

Tabel 6.16 Kondisi Termal pada pengkondisian 3c. PLB+PLA+P+B

kondisi Termal		Model Lansekap – Komponen Penutup Lahan				Selisih dengan <i>Basecase</i>	
		PLB	4.5%	3.75%	3%	<i>Basecase</i>	<i>Basecase</i>
		PLA	13.5%	11.25%	9%	–	–
		P	42%	35%	28%	LBA3.75	LBA39
		B	40%	50%	60%	11.25P35 B50	P28B60
Temperatur Udara (T °C)	Modus		29.17	29.18	29.17	0.02	0.03
	Min		28.99	28.87	28.90	0.13	0.10
	Maks		29.96	30.38	30.19	-0.39	-0.20
	Rata-rata		29.47	29.62	29.54	-0.13	-0.05
Kelembaban Udara (RH %)	Modus		56.95	56.63	56.47	0.10	0.26
	Min		52.01	50.84	50.98	1.23	1.09
	Maks		58.02	57.50	57.63	0.51	0.38
	Rata-rata		55.01	54.17	54.31	0.87	0.73
Kecepatan Angin (V m/s)	Modus		2.75	2.78	3.00	-0.01	-0.23
	Min		0.02	0.05	0.04	0.00	0.01
	Maks		3.71	3.78	3.83	-0.06	-0.11
	Rata-rata		1.87	1.91	1.94	-0.03	-0.06
Intesitas Radiasi Matahari (Ig Watt/m2)	Modus		596.84	597.31	597.31	-0.98	-0.98
	Min		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	Maks		602.17	603.67	603.57	-1.35	-1.25
	Rata-rata		301.08	301.83	301.78	-0.67	-0.62
Temperatur radiasi matahari (T <sub>mrt</sub> °C)	Modus		58.90	59.04	58.66	-0.31	0.07
	Min		23.54	23.67	23.70	0.10	0.07
	Maks		66.94	67.08	66.79	-0.08	0.21
	Rata-rata		45.24	45.38	45.24	0.00	0.14
<i>Physiologically Equivalent Temperature (PET °C)</i>	Modus		36.96	37.20	36.72	-0.04	0.44
	Min		24.00	24.00	24.00	0.20	0.20
	Maks		53.40	55.00	50.20	-1.40	3.40
	Rata-rata		38.70	39.50	37.10	-0.60	1.80

Keterangan :  *Basecase*

Dari pengkondisian tipe lansekap 3.c, tipe lansekap LBA3.7511.25-P35-B50 yang memiliki temperatur udara dan kenyamanan termal PET paling tinggi yaitu 29,62 °C dan 39,50 °C dibandingkan tipe lansekap LBA4.513.5-P42-B40 dan LBA39-P28-B60. Perbedaan temperatur udara untuk tipe lansekap yang terdiri dari bangunan 40% dan 60% hanya 0,07 °C. Pengkondisian tipe lansekap 3.c ini memberikan keuntungan dalam perolehan pembayangan pada sisi koridor jalan orientasi Utara-Selatan dengan nilai H/W 0,6. Namun, karena didominasi oleh penutup lahan buatan berupa paving, aspal dan bangunan, perolehan pembayangan yang ada belum mampu dapat menurunkan temperatur udara dan kenyamanan termal PET. Selain itu juga dipengaruhi oleh perolehan kecepatan angin yang kecil 1,87 – 1,94 m/s. Dilihat dari distribusi atau sebaran nilai PET, ketiga tipe lansekap ini cenderung memiliki pola yang sama. Tipe lansekap yang didominasi bangunan 60% memiliki nilai kenyamanan termal PET nilai modus (sebaran yang luas) yang lebih rendah yaitu 36,72 °C .

#### 4. Hasil Eksperimen Keseluruhan Pengkondisian Tipe Lansekap

Tabel 6.17 menunjukkan persentase penurunan dan peningkatan elemen iklim berdasarkan 1 *basecase* saja dengan melihat hasil nilai rata-rata dan nilai modus (nilai yang paling banyak muncul) di setiap tipe lansekap. Berdasarkan hasil tabulasi dapat dijelaskan bahwa secara keseluruhan untuk peningkatan dan penurunan nilai kenyamanan termal ruang luar PET menunjukkan bahwa nilai rata-rata tidak menunjukkan tren atau kecenderungan proses peningkatan atau penurunan dibandingkan nilai modus. Nilai modus pada PET menunjukkan sebaliknya, tren atau kecenderungan peningkatan dan penurunan dalam suatu tipe lansekap. Namun, ada beberapa elemen iklim seperti temperatur udara, kelembaban udara dan kecepatan angin menunjukkan bahwa baik nilai rata-rata dan nilai modus menunjukkan tren atau kecenderungan yang sama dalam proses peningkatan dan penurunan kondisi termal dalam suatu tipe lansekap.

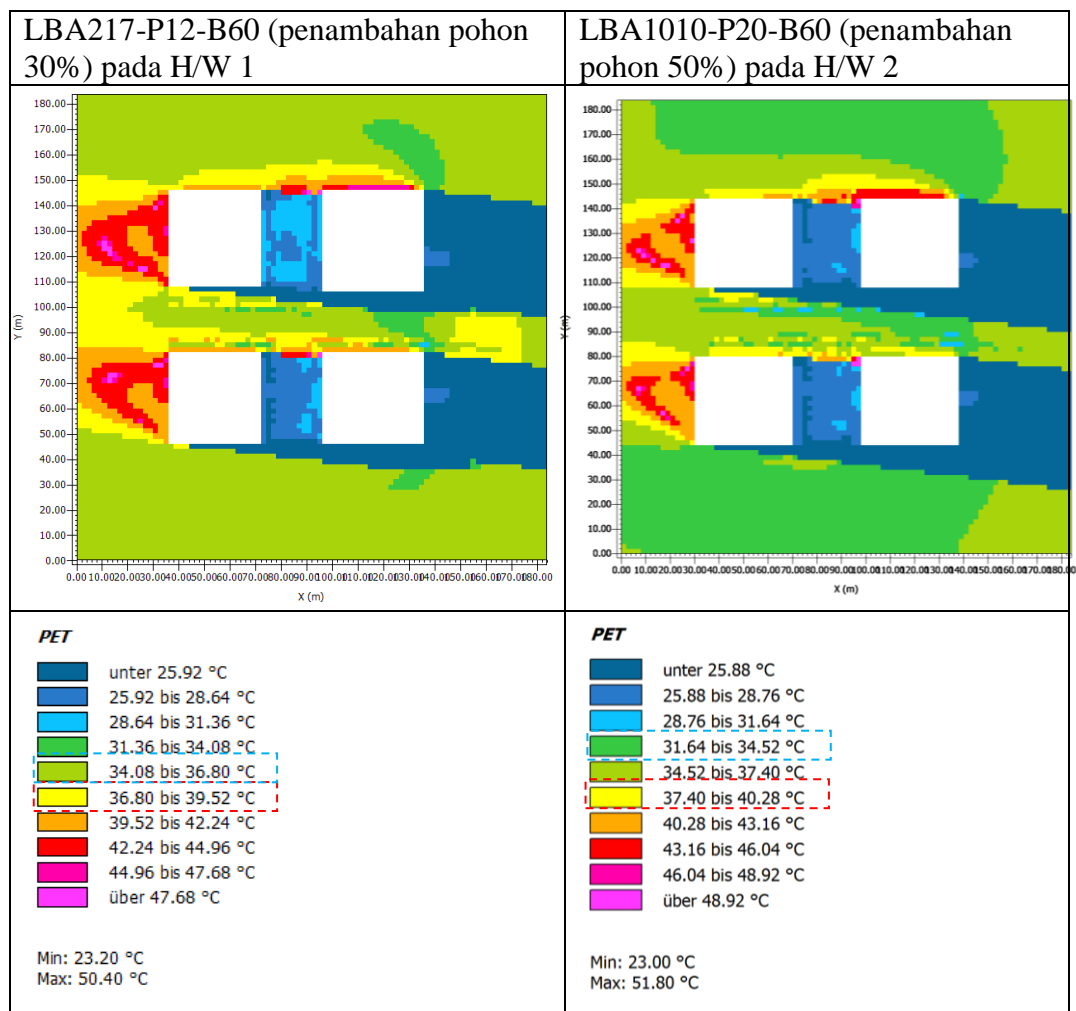
Tipe LBA7525 dijadikan sebagai *basecase* untuk semua tipe lansekap. Dilihat secara keseluruhan dari 15 tipe lansekap, baik berdasarkan nilai rata-rata dan nilai modus, penurunan persentase temperatur udara paling efektif terlihat

pada pengkondisian tipe lansekap PLB+PLA+B+P yang terdiri dari penutup lahan alami, buatan, pohon dan bangunan. Penambahan persentase pohon 50% dengan komposisi penutup lahan LBA12.512.5-P25-B50 yang menunjukkan persentase penurunan temperatur udara yang paling efektif yaitu sebesar 3,5% (1,09 K). Sejalan penelitian Edward Ng dkk (2012) yang meneliti tentang efek dari jumlah, jenis dan posisi penghijauan di pedestrian menyimpulkan bahwa penambahan pohon 50% pohon dapat mengurangi temperatur perkotaan sebesar 1,3°C selama siang hari di daerah panas lembab Hong Kong. Artinya untuk kondisi termal iklim mikro untuk daerah tropis lembab penambahan persentase pohon yang sama dapat menurunkan temperatur udara yang lebih kurang sama. Namun tidak diketahui bagaimana konfigurasinya, khususnya pada penelitian ini penambahan pohon 50% ini untuk tipe lansekap dengan nilai H/W 2 baik untuk orientasi Utara-Selatan dan Barat-Timur.

Berbeda untuk persentase penurunan nilai PET. Berdasarkan nilai rata-rata, tipe lansekap LBA217-P12-B60 dengan penambahan pohon 30% pada bangunan berkepadatan 60% dan nilai H/W 1 yang paling efektif dalam menurunkan nilai PET (artinya dapat meningkatkan kenyamanan termal ruang luar) sebesar 6,1% (2,4 K). Sementara berdasarkan nilai modus, tipe lansekap LBA1010-P20-B60 dengan penambahan pohon 50% pada bangunan berkepadatan 60% dan nilai H/W 2 yang paling efektif menurunkan nilai PET sebesar 18,8% (7,8 K). Gambar 6.31 menunjukkan perbedaan sebaran PET berdasarkan nilai rata-rata dan nilai modus yang terjadi pada kedua tipe lansekap tersebut. Kedua tipe lansekap ini sama-sama memiliki proporsi bangunan berkepadatan 60%, namun berbeda nilai H/W.

Namun, perbedaan yang jelas sekali antara nilai rata-rata dan nilai modus terlihat pada penambahan pohon sebesar 70%. Penambahan pohon 70% ini terdapat pada tipe lansekap dengan nilai H/W 0,6. Dari hasil nilai rata-rata penambahan pohon 70% malah dapat menyebabkan ketidaknyamanan termal ruang luar pada bangunan berkepadatan 50%. Sementara nilai modus penambahan pohon 70% masih dapat menciptakan kenyamanan termal ruang luar, namun tidak efektif dibandingkan pada penambahan pohon 30% dan 50% yaitu hanya  $\pm 10\%$  menurunkan nilai PET ( $\pm 4$  K).

Berdasarkan penjelasan perbedaan di atas, maka dapat disimpulkan bahwa proses peningkatan dan penurunan kondisi iklim, untuk dapat menciptakan kenyamanan termal ruang luar yang dipengaruhi oleh lansekap dan pembayangan diambil berdasarkan nilai modus, sehingga terlihat penyebab yang mempengaruhi mengapa dapat menciptakan kenyamanan termal ruang luar PET pada suatu tipe lansekap. Pada nilai modus terlihat dengan semakin tingginya nilai H/W dapat menciptakan kenyamanan termal ruang luar dengan penurunan nilai PET yang signifikan, begitu juga dengan penambahan persentase pohon.



Keterangan : Nilai rata-rata  
Nilai Modus

Gambar 6.31 Perbedaan sebaran PET berdasarkan nilai rata-rata dan modus pada dua tipe lansekap yang paling efektif menurunkan nilai PET



Tabel 6.17 Persentase Penurunan dan Peningkatan Kondisi Iklim akibat modifikasi komponen penutup lahan Tipe Lansekap

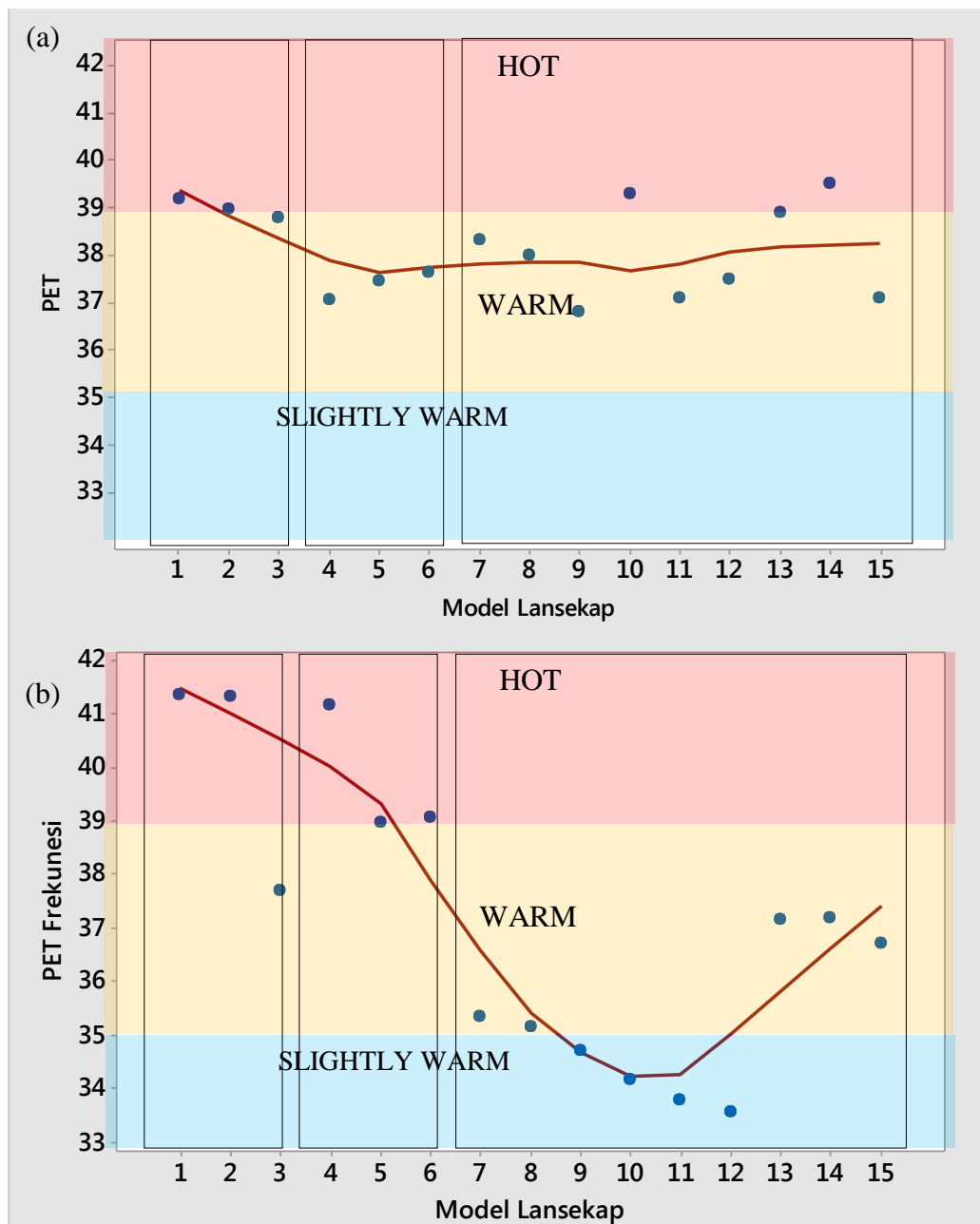
Model lansekap	Komponen Penutup Lahan				H/W	Kondisi Termal (Nilai Rata-rata)						Kondisi Termal (Nilai Modus)					
	PLB	PLA	P	B		T	RH	V	Ig	Tmrt	PET	T	RH	V	Ig	Tmrt	PET
<b>PLB + PLA</b>	75%	25%			0	<i>Basecase</i>						<i>Basecase</i>					
	50%	50%				0,6	-1,7	1,1	0,2	0,3	0,6	0,6	-3,9	-0,7	0,2	7,6	0,1
	25%	75%				0,7	-0,9	3,1	0,0	0,3	1,0	0,5	-5,7	2,5	0,0	7,6	8,8
<b>PLB + PLA + P</b>	52.5%	17.5%	30%		0	0,1	-1,1	4,6	18,3	9,5	5,5	0,1	-6,5	-0,4	0,7	0,5	7,7
	37.5%	12.5%	50%			0,5	-0,7	2,7	18,3	9,2	4,5	0,3	2,2	0,0	0,7	0,6	5,8
	22.5%	7.5%	70%			0,6	-1,3	-2,3	18,8	6,6	4,0	0,6	1,6	-0,4	0,8	0,5	5,5
<b>PLB + PLA + P + B</b>	31.50%	10.50%	18%	40%	1	2,1	-9,4	-17,6	51,4	25,8	1,0	0,3	-10,7	-32,6	3,0	9,3	14,5
	26.25%	8.75%	15%	50%		2,7	-8,5	-17,2	51,3	25,8	3,1	0,9	-9,8	-38,3	2,7	10,2	15,0
	21%	7%	12%	60%		3,0	-10,0	-24,0	51,3	26,3	6,1	1,2	-10,9	-40,8	2,9	10,1	16,0
	15%	15%	30%	40%	2	2,8	-9,9	-35,1	51,6	26,2	0,0	0,4	-4,7	-58,9	3,4	9,4	17,4
	12.5%	12.5%	25%	50%		3,5	-11,3	-39,3	51,6	27,7	5,6	1,3	-17,7	-65,6	3,4	9,5	18,3
	10%	10%	20%	60%		3,4	-11,8	-43,9	51,6	26,0	4,6	1,2	-5,3	-66,0	3,4	9,5	18,8
	4.5%	13.5%	42%	40%	0,6	1,8	-3,4	27,5	50,6	25,0	1,5	0,3	-6,5	1,8	1,4	8,6	10,2
	3.75%	11.25%	35%	50%		1,6	-1,7	26,0	50,5	25,0	-1,0	0,3	-6,3	1,4	1,3	8,1	10,1
	3%	9%	28%	60%		1,8	-2,0	25,2	50,5	25,2	4,3	0,4	-6,0	-6,4	1,3	8,7	11,2
Keterangan : T : Temperatur Udara      Ig : Intesitas Radiasi Matahari RH : Kelembaban Udara      Tmrt : Temperatur Radiasi Matahari Rata-rata V : Kecepatan Angin      PET : <i>Physiologically Equivalent Temperature</i> (Indeks Kenyamanan Termal Ruang Luar) Nilai Modus : Nilai yang paling banyak muncul : Persentase penurunan kondisi iklim yang paling tinggi																	

Dilihat secara perpengkondisian tipe lansekap, persentase penurunan dan peningkatan kondisi iklim dan kenyamanan termal ruang luar akibat modifikasi komponen penutup lahan dapat dijelaskan sebagai berikut:

- Pengkondisian tipe lansekap PLB+PLA. Pengkondisian ini yang hanya terdiri dari aspal, paving, tanah dan rumput, dengan semakin tingginya proporsi penutup lahan alami dibandingkan lahan buatan dapat menurunkan temperatur udara dan kenyamanan termal PET. Berdasarkan hasil nilai rata-rata dan modus, penambahan proporsi lahan alami 50% dari 25% lebih efektif menurunkan temperatur udara 0,7% (0,22K) dibandingkan penambahan lahan alami 50%. Begitu juga untuk kenyamanan termal PET. Hal ini disebabkan oleh sifat termal dan radiasi yang dihasilkan oleh masing-masing penutup lahan. Nichol dkk (2009) yang menunjukkan terdapatnya hubungan erat antara temperatur permukaan (*surface temperature*) dan temperatur udara (*air temperature*) terhadap perubahan dan jenis penutup lahan.
- Pengkondisian tipe lansekap PLB+PLA+P. Pengkondisian ini terdiri dari aspal, paving, tanah, rumput dan pohon. Penambahan pohon ini dapat menurunkan temperatur udara dan meningkatkan kenyamanan termal ruang luar akibat pembayangan yang dihasilkan oleh pohon. Penambahan pohon 70% pada komposisi LBA22.57.7 lebih efektif dalam menurunkan temperatur udara sebesar 0,6% (0,18K) dibandingkan penambahan pohon 30% dan 50%. Namun berbanding terbalik dengan kenyamanan termal PET, penambahan pohon 30% lebih efektif dalam menciptakan kenyamanan termal sebesar 5,5%. Hal ini dipengaruhi oleh keberadaan pohon itu sendiri. Sebuah pohon akan mengalami proses penguapan yang dapat meningkatkan kelembaban udara (Ulysse, 2001). Tingginya kelembaban udara tersebut yang membuat kenyamanan termal ruang udara menjadi kurang nyaman. Selain itu juga dipengaruhi oleh kecilnya kecepatan angin.
- Pengkondisian tipe lansekap PLB+PLA+P+B. Pengkondisian ini dimasukkan penutup lahan berupa bangunan. Artinya mendapatkan tambahan panas oleh bangunan. Selain itu bangunan sendiri dapat

memberikan persentase tambahan selain dari pohon. Pada pengkondisian ini, berdasarkan nilai rata-rata dan modus terdapat perbedaan kecenderungan peningkatan dan penurunan kondisi iklim khususnya dalam menciptakan kenyamanan termal ruang luar (PET). Berdasarkan, baik nilai rata-rata maupun nilai modus yang lebih efektif dalam menurunkan temperatur udara yaitu penambahan persentase pohon 50% pada kepadatan bangunan baik 40%, 50% maupun 60%. Sementara penambahan persentase pohon sebesar 30% dan 70% pada kepadatan yang sama tidak menunjukkan penurunan temperatur udara yang efektif, bahkan dapat meningkatkan nilai PET lebih tinggi (kurang nyaman). Hal ini dipengaruhi oleh perbedaan nilai H/W dan pola perletakan vegetasi. Berbeda dengan nilai PET.

Berdasarkan penjelasan dan hasil tabulasi nilai rata-rata dan nilai modus, dapat disimpulkan bahwa kecenderungan penurunan nilai PET rata-rata tidak begitu terlihat, sementara berdasarkan hasil nilai modus kecenderungan itu terlihat (Gambar 6.32). Berdasarkan klasifikasi sensasi termal di daerah tropis Singapore berdasarkan hasil nilai rata-rata, nilai PET cenderung berada dalam zona *warm* (hangat), sementara hasil nilai modus menunjukkan kecenderungan penurunan nilai PET. Untuk pengkondisian model lansekap yang terdiri dari PLB+PLA dan PLB+PLA+P cenderung berada pada zona *hot* (panas) dan *warm* (hangat). Sementara pengkondisian PLB+PLA+P+B dengan nilai  $H/W = 2$  berada dalam zona *slightly warm* (agak hangat) dan nilai  $H/W \leq 1$  berada dalam zona *warm* (hangat). Hal ini sesuai dengan penelitian Rose (2011) yang menjelaskan bahwa semakin meningkatnya nilai H/W dapat meningkatkan kenyamanan termal ruang luar.



Gambar 6.32 Nilai PET di Setiap Model Eksperimen (a) Nilai Rata-rata (b) Nilai modus berdasarkan klasifikasi sensasi termal di Singapura (Wei, Yang, 2014)

#### 6.4.4 Model Sistem Lingkungan Termal Perkotaan

Hasil akhir penelitian ini berupa model sistem lingkungan termal perkotaan. Model tersebut merupakan model skematik yang dijelaskan dengan mendeskripsikan dari hubungan dinamis diantara parameter desain komposisi lansekap (persentase penutup lahan) dan konfigurasi lansekap (perletakan penutup lahan, orientasi jalan dan nilai H/W). Selanjutnya penjelasan deskripsi tersebut

dibuat rekomendasi desain berupa optimasi, sehingga diketahui karakteristik komposisi dan konfigurasi lansekap yang dapat menciptakan kenyamanan termal ruang luar yang optimal.

### 1. Deskripsi dari berbagai hubungan-hubungan dinamis yang telah diduga diantara variabel / parameter desain

Berdasarkan hasil eksperimen di atas, di setiap pengkondisian tipe lansekap, untuk mengetahui secara umum bagaimana komponen elemen lansekap sangat berpengaruh pada kondisi kenyamanan termal ruang luar dapat dilihat pada tabel 6.18.

Tabel 6.18 Matriks Pengaruh Komponen Penutup Lahan terhadap Kondisi Kenyamanan Termal

Pengkondisian	Lansekap				
	Komposisi	Konfigurasi			Pembayangan
	%Penutup Lahan	Perletakan penutup lahan	Orientasi Jalan	H/W	
PLB + PLA	√	-	-	-	-
PLB + PLA + P	√	√	√	-	√
PLB + PLA + P + B	√	√	√	√	√

Keterangan : √ : Berpengaruh

- : Tidak berpengaruh

Tabel 6.18 menunjukkan bahwa pengkondisian tipe lansekap yang hanya terdiri dari hamparan penutup lahan buatan dan alami (PLB+PLA), hanya komposisi lansekap yang mempengaruhi kondisi termal. Artinya hanya proporsi penutup lahan yang mempengaruhi kenyamanan termal ruang luar. Sementara pada pengkondisian penutup lahan buatan, alami dan pohon (PLB+PLA+P) serta ditambah bangunan (PLB+PLA+P+B), menunjukkan bahwa komposisi, konfigurasi dan pembayangan sangat mempengaruhi kondisi termal. Artinya selain proporsi penutup lahan, konfigurasi berupa perletakan penutup lahan, orientasi jalan dan nilai H/W sangat mempengaruhi kondisi kenyamanan termal ruang luar. Sebagaimana Andreou (2013) menjelaskan bahwa pengaruh albedo permukaan penutup lahan sangat besar pengaruhnya terhadap jalan yang memiliki nilai H/W kecil. Sementara di jalan dengan nilai H/W yang tinggi pengaruh

albedo permukaan sangat kecil dibandingkan pengaruh dari geometri jalan itu sendiri (H/W).





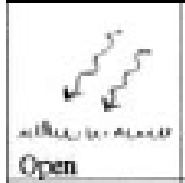







Namun, untuk membantu dalam menentukan bagaimana komponen elemen lansekap yang berbeda mempengaruhi iklim mikro dapat dilihat pada tabel 6.19. Tabel tersebut dibantu dengan menggunakan diagram yang diajukan oleh Brown (2010), sehingga dapat diketahui kinerja dari masing-masing komponen penutup lahan dalam mempengaruhi kondisi termal dan kenyamanan termal ruang luar PET. Adapun penjelasan kondisi termal berupa elemen iklim sebagai berikut:

- Radiasi matahari. Penerimaan intensitas radiasi matahari terhadap satu tipe lansekap tergantung dari komponen penutup lahan. Radiasi yang diterima permukaan penutup lahan pasti akan dipantulkan dan diserap. Jumlah radiasi yang diserap suatu objek tergantung warna, warna yang lebih gelap lebih banyak menyerap radiasi matahari dibandingkan warna cerah (Brown, 2010). Selain itu juga dipengaruhi oleh albedo, tanah dan rumput (10-30%) memiliki albedo yang kecil dibandingkan aspal dan paving (10-50%) (Brown dan Gillespie, 1995). Pengkondisian tipe lansekap PLB+PLA penerimaan intensitas radiasi matahari secara langsung, tidak ada penghalangnya, sehingga intensitas yang diterima cukup tinggi 609,6 – 609,9 Watt/m<sup>2</sup>. Sementara pengkondisian tipe lansekap PLB+PLA+P yang ada penambahan pohon akan dapat menghalangi penerimaan radiasi matahari secara langsung sebesar 18,7%. Tipe lansekap PLB+PLA+P+B, dengan penambahan berupa bangunan, penerimaan intensitas radiasi matahari akan semakin berkurang lagi. Pada tipe ini ada 2 penghalangnya yaitu pohon dan bangunan, sehingga penerimaan radiasinya semakin berkurang sebesar 51,3%.
- Kecepatan angin. Untuk tipe lansekap yang hanya berupa hamparan, angin yang ada dapat bergerak bebas tanpa hambatan, sehingga kecepatan angin yang ada cukup tinggi sebesar 2,54 – 2,62 m/s. Tipe lansekap yang ada penambahan pohon akan mengalami proses penghambatan sehingga dapat mengurangi kecepatan angin dan ada proses mengarahkan aliran udara, sehingga dapat meningkatkan kecepatan angin. Begitu juga yang terjadi

pada tipe lansekap PLB+PLA+P+B. Pada tipe ini yang dapat menghambat pergerakan arah angin akan terjadi jika adanya penghalang berupa bangunan atau pohon yang perletakkannya tidak searah dengan arah datang angin, sehingga dapat mengurangi kecepatan angin sebesar 26,4% (0,67 m/s). Sejalan dengan Ali-Toudert dan Mayer (2007) menjelaskan adanya efek negatif dari vegetasi di iklim hangat, yaitu pohon dapat memblokir angin dengan mengurangi kecepatan angin sebesar 30-40%. Sementara jika perletakan pohon atau bangunan searah dengan arah datang angin akan dapat meningkatkan kecepatan angin sebesar 30% (1,12 m/s).













- Temperatur udara. Seperti yang sudah dibahas pada elemen radiasi matahari, untuk tipe lansekap yang hanya berupa hamparan, akan dapat meningkatkan temperatur udara berdasarkan proporsi dari masing-masing penutup lahan. Setiap komponen penutup lahan akan memberikan sifat termal dan radiasi yang dapat meningkatkan atau menurunkan temperatur udara (Lun dkk, 2009). Pengkondisian tipe lansekap yang hanya berupa hamparan PLB+PLA cenderung memiliki temperatur yang lebih tinggi dibandingkan pengkondisian yang ada tambahan baik pohon maupun bangunan. Ketika tipe lansekap ada penambahan berupa pohon, akan dapat mengurangi penerimaan radiasi matahari secara langsung, sehingga dapat menurunkan temperatur udara sebesar 0,1-0,6% (0,02 – 0,2K). Shashua-Bar dkk (2003) mendeskripsikan efek pendinginan dari bayangan pohon yang memiliki peran dalam penetrasi radiasi matahari. Berbeda dengan adanya penambahan pohon dan bangunan PLB+PLA+P+B. Penerimaan panasnya bukan hanya dari penutup lahan saja berupa aspal, paving, tanah, dan rumput, melainkan mendapatkan tambahan panas dari radiasi bangunan. Apabila perletakan bangunan dan pohon yang ada sudah tepat, dapat memberikan keuntungan berupa bayangan, sehingga dapat menurunkan temperatur udara 1,6-3,5 % (0,87 – 1,09K).
- Kelembaban udara. Begitu juga dengan kelembaban udara, tergantung dari proporsi penutup lahan. Ada penutup lahan yang memberikan kelembaban sangat kering dan sangat basah. Namun, tingginya kelembaban udara, masih

Tabel 6.19 Matriks Pengaruh Komponen Lansekap : Penutup Lahan terhadap Kondisi Lingkungan Termal







<div> <i>Make it feel cooler</i> <span>←</span> <span>→</span> <i>Make it feel warmer</i> </div>						
Model Lansekap	Elemen Iklim	Komponen Penutup Lahan Penutup lahan buatan (aspal, paving), penutup lahan alami (rumput, tanah), pohon dan bangunan				
	Radiasi Matahari 					
PLB+PLA	609,6-609,9W/m <sup>2</sup>	-	-	-	√	-
PLB+PLA+P	495,3-498,3 W/m <sup>2</sup>	-	√	√	√	-
PLB+PLA+P+B	296,8-301,8 W/m <sup>2</sup>	√	√	√	√	√
Kesimpulan	Tipe lansekap PLB+PLA cenderung lebih panas, karena hampir sepanjang hari mendapatkan radiasi matahari. Sementara pada tipe lansekap yang ada pohon PLB+PLA+P maupun bangunan PLB+PLA+P+B, ada jam-jam tertentu membuat lebih dingin atau panas. Hal ini dipengaruhi adanya penetrasi radiasi matahari oleh pohon dan bangunan.					
	Radiasi Terrestrial 					
PLB+PLA	-	-	√	-	-	-
PLB+PLA+P	-	-	√	√	√	-
PLB+PLA+P+B	-	√	√	√	√	√
Kesimpulan	Tipe lansekap PLB+PLA cenderung membuat lebih dingin, karena pelepasan radiasi matahari bisa langsung ke langit bebas tanpa adanya hambatan, sementara pada tipe lansekap ada penambahan baik ohon dan bangunan cenderung membuat lebih panas, karena ada sebagian panas yang dipancarkan itu terhalang oleh pohon dan bangunan itu sendiri.					



Tabel 6.19 Matriks Pengaruh Komponen Penutup Lahan terhadap Kondisi Lingkungan Termal.....Lanjutan

<div> <i>Make it feel cooler</i> <span>←—————→</span> <i>Make it feel warmer</i> </div>						
Model Lansekap	Elemen Iklim	Komponen Penutup Lahan Penutup lahan buatan (aspal, paving), penutup lahan alami (rumput, tanah), pohon dan bangunan				
	Angin 					
PLB+PLA	2,54 – 2,62 m/s	-	√	√	-	-
PLB+PLA+P	2,5 – 2,68 m/s	√	√	√	√	-
PLB+PLA+P+B	1,87 – 3,74 m/s	√	√	√	√	√
Kesimpulan	Tipe lansekap PLB+PLA cenderung membuat lebih dingin, karena kecepatan angin tidak ada yang menghalang, namun tipe lansekap PLB+PLA+P dan PLB+PLA+P+B, bisa membuat lebih dingin atau panas. Konfigurasi dari pohon dan bangunan ada yang memberi peluang kecepatan angin lebih kencang dan ada yang dapat memblokir sehingga kecepatan angin menjadi kecil					
	Temperatur Udara 					
PLB+PLA	29,84 – 30,06 °C	√	-	√	√	-
PLB+PLA+P	29,88 – 30,03 °C	√	√	√	√	-
PLB+PLA+P+B	28,97 – 29,62 °C	√	√	√	√	√
Kesimpulan	Tipe lansekap PLB+PLA cenderung membuat lebih panas, karena sepanjang hari mendapatkan sinar matahari secara					

Tabel 6.19 Matriks Pengaruh Komponen Penutup Lahan terhadap Kondisi Lingkungan Termal.....Lanjutan

Make it feel cooler ←————→ Make it feel warmer						
Model Lansekap	Elemen Iklim	Komponen Penutup Lahan Penutup lahan buatan (aspal, paving), penutup lahan alami (rumput, tanah), pohon dan bangunan				
Kesimpulan	langsung, namun tergantung juga dari komposisi penutup lahan. Sementara tipe lansekap PLB+PLA+P dan PLB+PLA+P+B bisa membuat lebih dingin atau panas, tergantung dari konfigurasi lansekap yaitu perletakan pohon dan bangunan yang akan berpengaruh terhadap penerimaan radiasi matahari (pembayangan) dan perolehan kecepatan angin					
	Kelembaban Udara 					
PLB+PLA	53,15 – 54,03%	-	-	√	√	-
PLB+PLA+P	53,54 – 53,82%	-	√	√	√	-
PLB+PLA+P+B	55,01 – 59,92%	-	√	√	√	√
Kesimpulan	Kelembaban udara di tipe PLB+PLA cenderung membuat lebih panas, begitu juga dengan tipe lansekap PLB+PLA+P dan PLB+PLA+P+B. Keberadaan pohon dan penambahan pohon di daerah tropis lembab perlu diperhatikan, karena pohon memberikan peluang yang besar dalam menyumbangkan kelembaban udara dari proses penguapan. Sehingga perlu memperhatikan konfigurasi lansekap untuk dapat memaksimalkan perolehan kecepatan angin yang tinggi.					

dapat diterima jika adanya kecepatan angin yang tinggi (Ahmed, 2003). Pengkondisian tipe lansekap PLB+PLA, yang didominasi PLA (tanah dan rumput) dapat meningkatkan kelembaban udara 5,7%. Kelembaban udara yang tinggi terlihat pada pengkondisian tipe lansekap dengan penambahan pohon PLB+PLA+P. Seperti yang diketahui sebuah pohon akan mengalami proses penguapan sehingga dapat meningkatkan kelembaban udara (Ulysse, 2001). Penambahan pohon sebesar 50% dapat meningkatkan kelembaban udara sebesar 11,8%. Begitu juga untuk pengkondisian yang ditambah dengan bangunan PLB+PLA+P+B, baik pada bangunan berkepadatan 40-60% dapat meningkatkan kelembaban sebesar 17,7%.

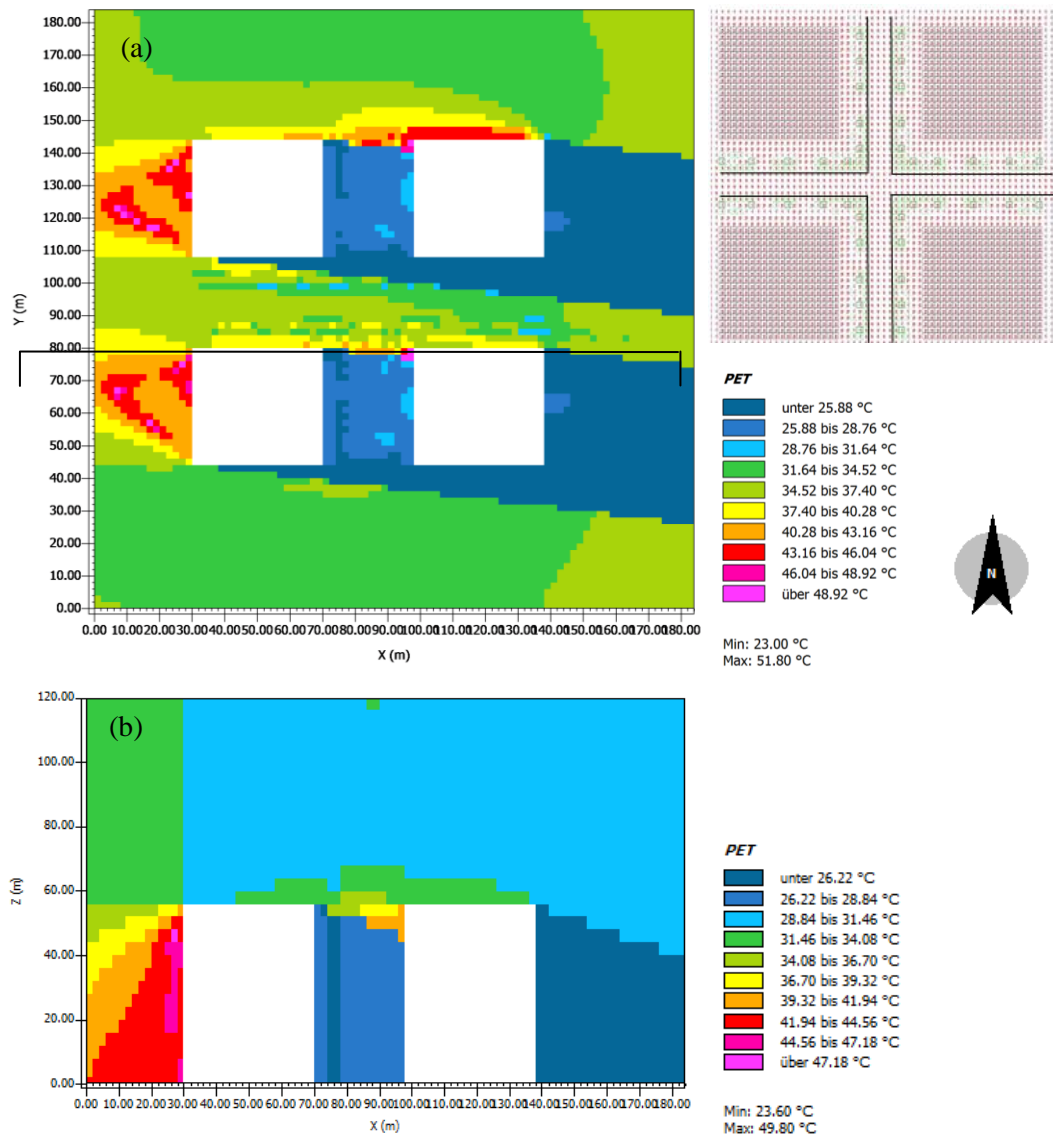
## **2. Rekomendasi desain: Optimasi Tipe Lansekap**

Berdasarkan hasil analisa dan rangkuman di atas dapat disimpulkan bahwa hasil tabulasi yang berupa nilai modus khususnya menunjukkan tren atau kecenderungan dalam menciptakan kenyamanan termal ruang luar. Pengoptimalan tipe lansekap untuk dapat menciptakan kenyamanan termal ruang luar pada suatu perkotaan khususnya di daerah tropis lembab melibatkan 2 parameter desain yaitu perbandingan nilai H/W dan persentase dari komponen penutup lansekap.

Dari hasil simulasi tipe lansekap yang paling efektif dapat meningkatkan kenyamanan termal ruang luar yaitu pada tipe lansekap dengan penambahan persentase pohon 50% baik pada bangunan berkepadatan 40%, 50% dan 60%. Penambahan 50% pohon dapat menurunkan nilai PET sebesar 17,4 – 18,8% (7,2 – 7,8 K) dengan komposisi penutup lahan LBA1010-P20-B60 dan memiliki nilai H/W 2. Nilai PET menunjukkan 33,57 °C (Gambar 6.33). Sementara tipe lansekap yang dapat memperburuk kenyamanan termal ruang luar terdapat pada pengkondisian tipe lansekap dengan komposisi LBA3.7511.25-P35- B50 dan memiliki nilai H/W 0,6. Nilai PET menunjukkan 37,2 °C.

Optimasi tipe lansekap dilakukan dengan melakukan *plotting* titik-titik angka indeks kenyamanan termal ruang luar PET (°C ) berdasarkan klasifikasi sensasi termal untuk kenyamanan termal ruang luar di daerah tropis lembab (Singapore) (Wei, Yang, 2014). Hasil *plotting* tersebut dapat diketahui batas-batas pengoptimalan untuk tipe lansekap yang dapat menciptakan kenyamanan termal

ruang luar dengan batasan-batasan perbandingan nilai H/W dan persentase penutup lahan dari komponen lansekap tersebut. Pengoptimalan tersebut tergambar pada diagram kuadran optimasi sistem lingkungan termal perkotaan (Gambar 6.34).

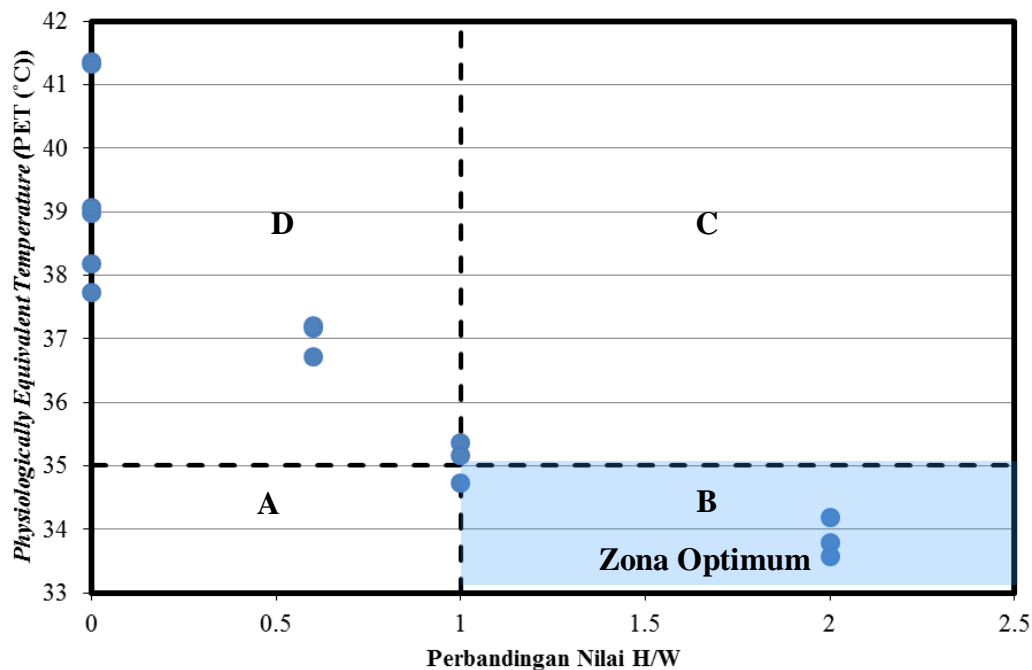


Gambar 6.33 Tipe lansekap dengan penambahan pohon 50% yang paling efektif menciptakan kenyamanan termal ruang luar (a) potongan horizontal (b) potongan vertikal.

Gambar 6.34 menunjukkan bahwa zona B merupakan zona optimum model sistem lingkungan termal perkotaan, yaitu zona ‘*slightly warm*’ dengan pola padat (H/W tinggi). Batas optimasi tipe lansekap yang dapat menciptakan

kenyamanan termal ruang luar berada pada nilai PET kurang dari 35°C dengan kriteria perbandingan nilai H/W lebih dari 1 dan seterusnya. Adapun kriteria tipe lansekapnya terdiri dari kisaran persentase penutup lahan berupa penutup lahan buatan, alami, pohon (PLB+PLA+P (50%)) dan Bangunan (B (50%)) dengan perbandingan nilai H/W 2 dan kisaran (PLB+PLA+P (60%)) dan Bangunan (B (40%)) dengan perbandingan nilai H/W 1.

Tipe lansekap LBA1010-P20-B60 yang paling efektif membentuk kenyamanan termal ruang luar dengan nilai PET 33,57 °C berada dalam zona ‘*slightly warm*’ dan tipe lansekap LBA3.7511.25-P35- B50 yang dapat membentuk ketidaknyamanan termal ruang luar dengan nilai PET 37,2 °C berada dalam zona ‘*warm*’. Sebagai perbandingan kenyamanan termal ruang luar di negara tropis lainnya dapat terlihat di Tabel 6.20.



Keterangan : A: Zona ‘*slightly warm*’ dengan pola menyebar (H/W rendah)  
 B: Zona ‘*slightly warm*’ dengan pola padat (H/W tinggi)  
 → **Zona Optimum**  
 C: Zona ‘*hot*’ dengan pola padat (H/W tinggi)  
 D: Zona ‘*hot*’ dengan pola menyebar (H/W rendah)

Gambar 6.34 Diagram Kuadran Optimum Model Sistem Lingkungan Termal Perkotaan

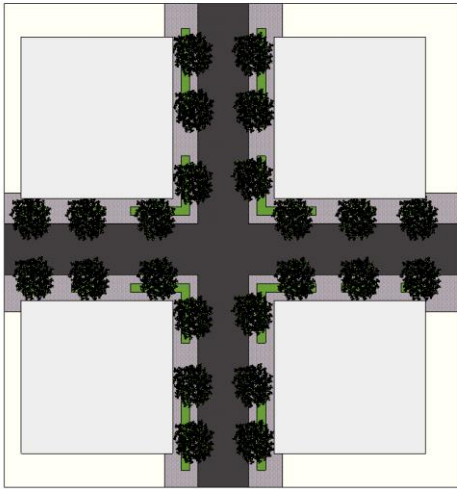

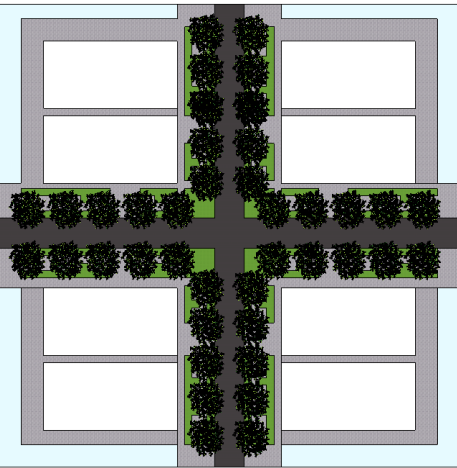


Berdasarkan tabel 6.20 dapat dijelaskan khususnya untuk daerah tropis lembab hampir memiliki nilai kenyamanan termal ruang luar PET yang sama, baik dalam kondisi ruang luar apapun, seperti rusun, taman dan lansekap ruang kota lainnya seperti di kawasan perumahan, kawasan penghijauan, kawasan komersial. Artinya, iklim makro di suatu daerah dengan karakteristik yang hampir sama akan menciptakan iklim mikro yang hampir sama. Jadi dapat disimpulkan hasil penelitian ini diharapkan dapat digeneralisasikan pada daerah iklim tropis lembab lainnya.

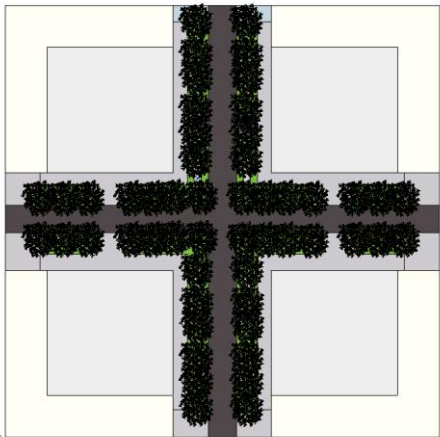
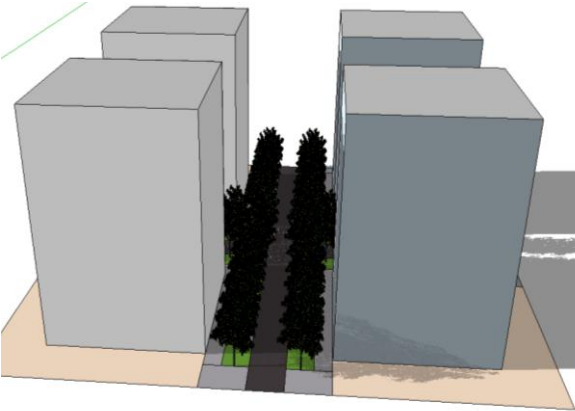
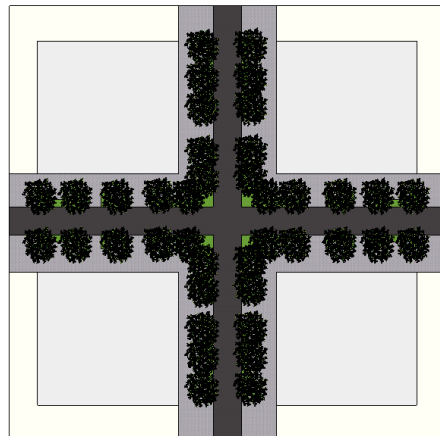
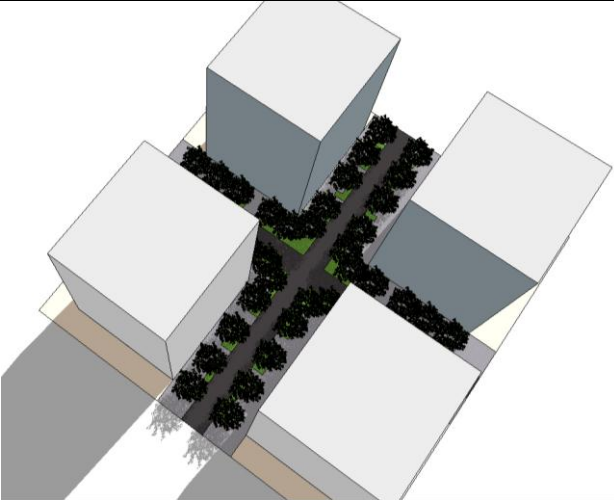


Tabel 6.20 Perbandingan Nilai Kenyamanan Termal Ruang Luar PET di Negara Tropis dan Subtropis

Kota	Peneliti	Iklim	Studi Kasus	Rentang PET
Taiwan*	Hwang dkk (2011)	Iklim Subtropis Lembab	Urban street	28 – 30 °C Musim Panas
Cairo**	Mahmoud (2011)	Iklim Tropis Panas dan Kering	Urban park	20-30,1 °C Bulan Panas
Singapura**	Wei, Yang (2014)	Iklim Tropical monsoon	Urban space : taman, jalan, universitas, dll	28,1 °C Musim Panas
Changsha**	Wei, Yang (2014)	Iklim Subtropis Lembab	Urban space : taman, jalan, universitas, dll	27,9 °C Musim Panas
Bandung***	Paramita dkk (2014)	Iklim Tropis Lembab	Rusun	34,2 – 40,7°C
Jakarta****	Koerniawan dkk (2015)	Iklim Tropis Lembab	Taman	< 34 °C Bulan Panas
Surabaya	Fetty (2016)	Iklim Tropis Lembab	Lansekap	33,57 - 41,3 °C Bulan Panas

Sumber : \*Hwang dkk (2011), \*\*Wei, Yang (2014), \*\*\*Paramita dkk (2014), \*\*\*\*Koerniawan dkk (2015)

Gambar 6.35 menunjukkan model pembayangan dan lansekap yang termasuk dalam kriteria zona optimum, yaitu zona dengan kenyamanan termal ruang luar ‘*slightly warm*’ dengan pola padat (H/W tinggi). Ada empat tipe lansekap yaitu : tipe lansekap LBA217-P12-B60, LBA1515-P30-B40, LBA12.512.5-P25-B50, dan LBA1010-P20-B60.

		<p><b>Tipe Lansekap LBA217-P12-B60</b>          (Bangunan tingkat tinggi)          Kriteria komposisi dan konfigurasi:          Penutup lahan buatan (PLB) : 21%          Penutup lahan alami (PLA) : 7%          Pohon (P) : 12%          Bangunan (B) : 60%          Persentase Pembayangan : 73%</p> <p>Orientasi jalan : Utara-Selatan ; Barat-Timur          Nilai H/W : 1</p>
		<p><b>Tipe Lansekap LBA1515-P30-B40</b>          (Bangunan tingkat tinggi)          Kriteria komposisi dan konfigurasi:          Penutup lahan buatan (PLB) : 15%          Penutup lahan alami (PLA) : 15%          Pohon (P) : 30%          Bangunan (B) : 40%          Persentase Pembayangan : 55%</p> <p>Orientasi jalan : Utara-Selatan ; Barat-Timur          Nilai H/W : 2</p> 

		<p><b>Tipe Lansekap LBA12.512.5-P25-B50</b>          (Bangunan tingkat tinggi)          Kriteria komposisi dan konfigurasi:          Penutup lahan alami (PLB) : 12.5%          Penutup lahan alami (PLA) : 12.5%          Pohon (P) : 25%          Bangunan (B) : 50%          Persentase Pembayangan : 70%          Orientasi jalan : Utara-Selatan ; Barat-Timur          Nilai H/W : 2</p>
		<p><b>Tipe Lansekap LBA1010-P20-B60</b>          (Bangunan tingkat tinggi)          Kriteria komposisi dan konfigurasi:          Penutup lahan alami (PLB) : 10%          Penutup lahan alami (PLA) : 10%          Pohon (P) : 20%          Bangunan (B) : 60%          Persentase Pembayangan : 75%</p> <p>Orientasi jalan : Utara-Selatan ; Barat-Timur          Nilai H/W : 2</p> <p>Keterangan:  Daerah yang terbayangi</p> 

Gambar 6.35 Model Pembayangan dan Lansekap yang termasuk dalam Kriteria Zona Optimum

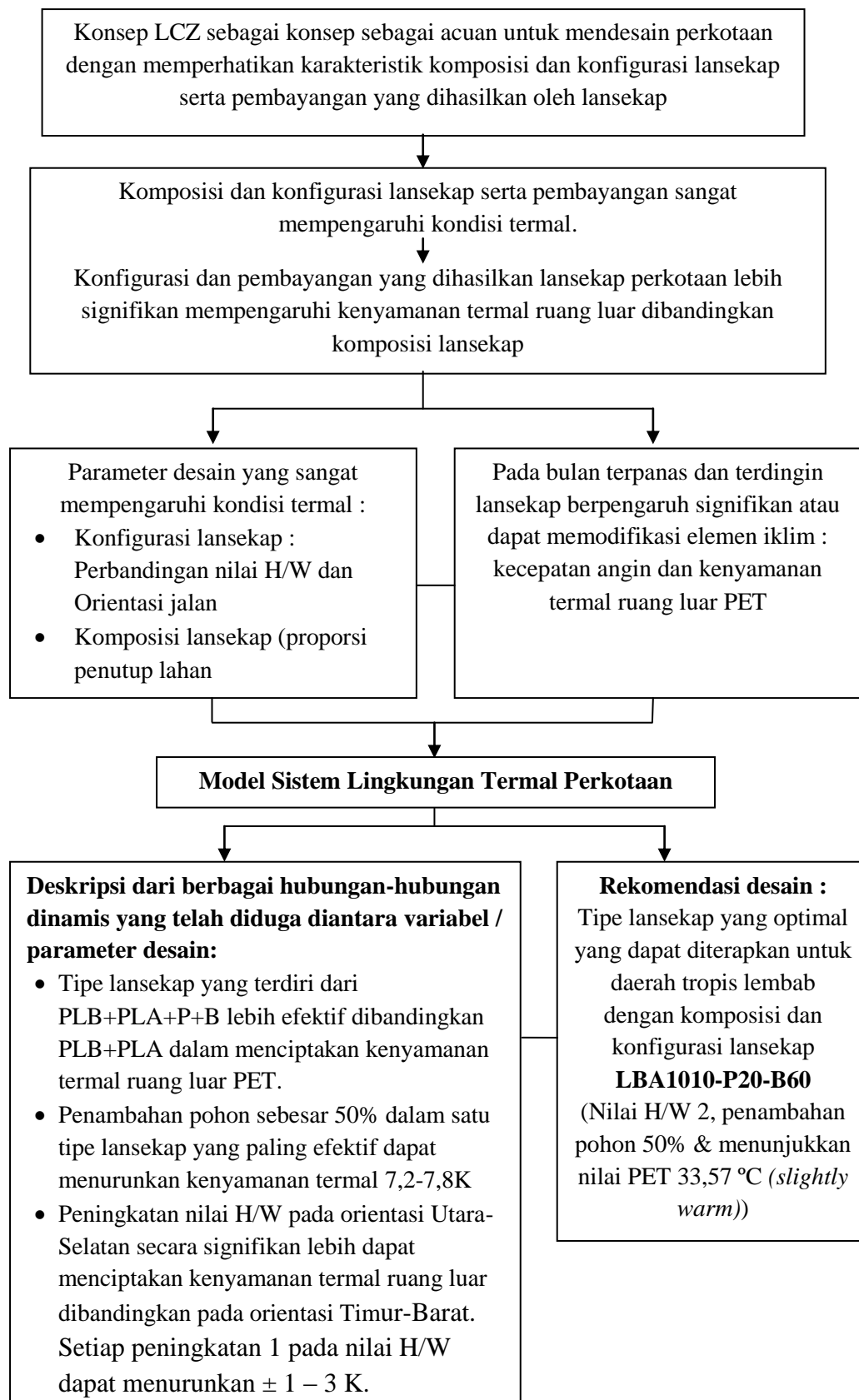


## **6.5. Rangkuman Hasil Pengukuran Lapangan, Simulasi dan Eksperimen**

Rangkuman hasil penelitian ini menunjukkan dari 3 metode penelitian yaitu hasil pengukuran lapangan, simulasi dan eksperimen dengan bantuan metode analisa data berupa korelasi untuk menjelaskan hubungan antara komposisi, konfigurasi dan pembayangan lansekap ruang kota terhadap kondisi lingkungan termal ruang luar pada bulan terpanas dan terdingin (Tabel 6.21).

Ketiga metode ini memiliki tujuan yang berbeda untuk membantu menjawab pertanyaan penelitian. Pengukuran lapangan untuk menjelaskan karakteristik lansekap ruang dan bagaimana kondisi termal di setiap tipe lansekap pada bulan terpanas. Hasil simulasi bertujuan untuk menjelaskan kondisi termal dan kenyamanan termal ruang luar pada bulan terpanas dan terdingin, serta menjelaskan parameter desain apa yang sangat dominan mempengaruhi kenyamanan termal ruang luar. Terakhir, hasil eksperimen bertujuan untuk menjelaskan model sistem lingkungan termal perkotaan, sehingga didapat tipe lansekap yang paling optimal dalam menciptakan kenyamanan termal ruang luar yang dijadikan sebagai rekomendasi desain khususnya di daerah tropis lembab.

Gambar 6.36 menunjukkan keterkaitan konsep karakteristik lansekap ruang kota dengan kondisi termal dalam menjelaskan model sistem lingkungan termal perkotaan.



Gambar 6.36 Kesimpulan Diskusi dan Hasil Penelitian

Tabel 6.21 Rangkuman Hasil Penelitian

		Pengukuran Lapangan	Simulasi	Eksperimen
<b>Tujuan</b>		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Menjelaskan Karakteristik Lansekap dan Pembayangan lansekap ruang kota</li> <li>• Menjelaskan kondisi termal dengan melihat hubungan antara komposisi, konfigurasi dan pembayangan lansekap ruang kota terhadap kondisi termal ruang luar pada Musim Terpanas</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Menjelaskan kondisi termal ruang luar pada Bulan Terpanas dan Terdingin.</li> <li>• Menjelaskan kenyamanan termal ruang luar (PET)</li> <li>• Parameter desain apa yang paling signifikan mempengaruhi kenyamanan termal ruang luar PET</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Menjelaskan model sistem lingkungan termal perkotaan</li> <li>• Menghasilkan rekomendasi desain: Tipe lansekap yang optimal yang dapat diterapkan untuk daerah tropis lembab</li> </ul>
<b>Metode Analisa Data</b>		<b>Metode Korelasi</b> : Menjelaskan hubungan antara komposisi, konfigurasi dan pembayangan lansekap ruang kota terhadap kondisi termal ruang luar pada Bulan Terpanas dan Terdingin		
<b>Argumentasi</b>		Bangunan dapat memberikan peran yang berbeda dalam suatu lingkungan termal perkotaan. Bangunan sebagai penyerap dan pemantul panas yang dapat meningkatkan temperatur udara dan sebagai pembentuk pembayangan yang dapat menurunkan temperatur udara. Namun kedua peran ini sejauh mana berpengaruh terhadap lingkungan termal perkotaan. Perlu dikaji model komposisi dan konfigurasi lansekap ruang kota serta pembayangan sehingga terciptanya kondisi kenyamanan termal ruang luar yang baik khususnya di daerah iklim tropis lembab.		
<b>Parameter Desain</b>				
<b>Komposisi</b>	Penutup Lahan Buatan (Aspal+Paving)	Vegetasi dapat menurunkan temperatur udara dan kecepatan angin pada iklim mikro di sekitarnya. Ini dapat menciptakan efek pendinginan bagi perkotaan. Namun ini masih generalisasi.	Peningkatan persentase penutup lahan terbangun dapat secara signifikan dapat meningkatkan kenyamanan termal di siang hari. Sebaliknya dapat memperburuk kenyamanan	Peningkatan penutup lahan buatan + bangunan yang lebih dominan dibandingkan penutup lahan alami + pohon dapat meningkatkan temperatur udara. Artinya dapat menyebabkan ketidaknyamanan

Tabel 6.21 Rangkuman Hasil Penelitian.....(Lanjutan)

		<b>Pengukuran Lapangan</b>	<b>Simulasi</b>	<b>Eksperimen</b>
<b>Komposisi</b>	Penutup Lahan Alami (Rumput+anah)	Hasil pengukuran lapangan ada tipe lansekap (OST dengan $T = 32,75^{\circ}\text{C}$ ) yang menunjukkan sebaliknya. Perlu memperhatikan persentase penutup lahan dan perletakan yang tepat.	termal pada malam hari. Hal ini juga terkait dengan peningkatan H/W. Demikian juga untuk persentase penutup lahan alami.	termal ruang luar PET. Namun bisa sebaliknya jika penutup lahan buatan + bangunan yang lebih dominan dibandingkan penutup lahan alami + pohon dengan nilai H/W yang tinggi dapat menciptakan kenyamanan termal ruang luar PET.
	Pohon			
	Bangunan			
<b>Konfigurasi</b>	Orientasi Jalan	Orientasi jalan merupakan faktor fundamental dalam memberikan perolehan kecepatan angin dan persentase pembayangan.	Orientasi jalan memiliki hubungan yang paling signifikan terhadap kenyamanan termal ruang luar dengan memodifikasi arah dan kecepatan angin	Orientasi jalan Utara-Selatan lebih menguntungkan dalam perolehan persentase bayangan. Orientasi jalan Timur-Barat lebih menguntungkan dalam perolehan kecepatan angin khususnya untuk di lokasi penelitian arah datang angin cenderung dari arah Timur.
	Nilai H/W	Pada kondisi malam hari, tidak selamanya pada aspek H/W yang tinggi dan persentase area bangunan dapat memperburuk kenyamanan termal. Hal ini kemungkinan dapat dipengaruhi oleh komposisi dan konfigurasi lansekap (orientasi jalan, pola penataan bangunan dan vegetasi).	Perlu peningkatan H/W di jalan berorientasi U-S dan diagonal untuk meningkatkan persentase bayangan. Peningkatan H/W signifikan meningkatkan kenyamanan termal pada siang hari dan memperburuk kenyamanan termal pada malam hari.	Peningkatan nilai H/W secara signifikan menciptakan kenyamanan termal ruang luar. Khususnya pada penelitian ini, bangunan midrise ( $H/W \leq 1,5 - 2$ ) dan highrise ( $H/W \geq 3$ ) secara signifikan dapat menciptakan kenyamanan termal ruang luar PET.

Tabel 6.21 Rangkuman Hasil Penelitian.....(Lanjutan)

		<b>Pengukuran Lapangan</b>	<b>Simulasi</b>	<b>Eksperimen</b>
<b>Konfigurasi</b>	Nilai H/W	Terjadi di tipe OSH dan OSM memiliki T lebih rendah 1-2 °C		
	Pola Massa Bangunan	Pola penataan bangunan menyebar lebih cepat meningkatkan temperatur 1-2 °C dan intensitas radiasi matahari dibandingkan pola bangunan linier dan grid	Pola massa bangunan sangat berpengaruh terhadap peningkatan temperatur udara dan kecepatan angin terkait dengan intensitas radiasi matahari yang diserap dan dipantulkan oleh permukaan penutup lahan. Sehingga berpengaruh pada kenyamanan termal ruang luar	Pola massa grid dan linier lebih efektif dalam menciptakan kenyamanan termal ruang luar PET.
	Pola Penataan Vegetasi	Pola penataan vegetasi yang cenderung mengikuti pola jalan (di sepanjang jalan) menunjukkan temperatur udara lebih tinggi dibandingkan pola penataan vegetasi yang mengikuti pola jalan dan berkelompok serta berkelompok saja.	Pola penataan vegetasi tidak terlepas dari orientasi kawasan (jalan dan bangunan) dan pola penataan bangunan serta karakteristik dari pohon (bentuk tajuk pohon dan kerapatan daun) dalam menciptakan kenyamanan termal ruang luar.	Penempatan di koridor jalan menunjukkan temperatur yang lebih rendah dibandingkan kelompok. Perbedaan temperatur udara sebesar 1,14 K.
<b>Pembayangan</b>		Daerah yang terbayangi tidak selalu menunjukkan temperatur yang lebih rendah dibandingkan daerah tidak terbayangi, dengan kata lain pembayangan yang dihasilkan dapat menurunkan dan menaikkan temperatur udara. Hal	Untuk menghasilkan bayangan yang tepat (untuk dapat menurunkan temperatur udara) dari bangunan dan pohon perlu dipertimbangkan variabel konfigurasi lansekap : penataan pola massa bangunan dan	Peningkatan persentase pembayangan sangat berhubungan dengan nilai H/W dan orientasi. Peningkatan nilai H/W di orientasi Utara-Selatan sangat menguntungkan dalam perolehan persentase pembayangan dengan

Tabel 6.21 Rangkuman Hasil Penelitian.....(Lanjutan)

	<b>Pengukuran Lapangan</b>	<b>Simulasi</b>	<b>Eksperimen</b>
<b>Pembayangan</b>	ini tergantung dari konfigurasi lansekap yaitu perletakan pohon atau bangunan yang dapat menghasilkan bayangan.	vegetasi.	demikian dapat menciptakan kenyamanan termal ruang luar.
Panas Antropogenik	Secara umum, peningkatan frekuensi arus lalu lintas dapat mempengaruhi kondisi termal perkotaan, ditandai dengan meningkatnya temperatur dan kelembaban udara.	-	-
<b>Kesimpulan Hasil Penelitian:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>Kondisi termal perkotaan dipengaruhi tidak secara terpisah oleh komposisi, konfigurasi dan pembayangan yang dihasilkan lansekap ruang kota. Konfigurasi dan pembayangan yang dihasilkan lansekap perkotaan lebih signifikan mempengaruhi kenyamanan termal ruang luar dibandingkan komposisi lansekap. Du, Shihong dkk (2016) menjelaskan bahwa konfigurasi lansekap lebih mempengaruhi dibandingkan komposisi lansekap terhadap temperatur permukaan penutup lahan. Adapun parameter desain yang sangat berpengaruh pada kenyamanan termal ruang luar PET adalah : <ul style="list-style-type: none"> <li>Komponen penutup lahan (komposisi) tidak dapat berdiri sendiri dalam mempengaruhi kondisi termal perkotaan. Artinya, perlu saling terkait antar parameter desain lainnya, seperti orientasi jalan, pola penataan vegetasi, perbandingan nilai H/W dan pola pembayangan yang juga berbeda-beda dalam mempengaruhi kondisi termal.</li> <li>Orientasi Jalan.</li> <li>Nilai H/W.</li> </ul> </li> <li>Hasil penelitian menunjukkan bahwa pada bulan terpanas dan terdingin lansekap berpengaruh signifikan atau dapat memodifikasi elemen iklim : kecepatan angin dan kenyamanan termal ruang luar PET. Brown dan Gillespie (1995) ; Brown (2010 ; 2011) mengemukakan bahwa desain lansekap secara signifikan dapat memodifikasi elemen iklim mikro : radiasi matahari dan pergerakan angin, sedangkan temperatur udara, kelembaban udara dan curah hujan merupakan elemen yang tidak terlalu penting dalam desain lansekap untuk memodifikasi elemen iklim mikro. Terdapat perbedaan dengan hasil penelitian</li> </ul>			

Tabel 6.21 Rangkuman Hasil Penelitian.....(Lanjutan)

yang menunjukkan pada bulan terdingin kelembaban udara dan temperatur radiasi matahari dapat dipengaruhi oleh lansekap. Seperti diketahui daerah tropis lembab memiliki karakteristik iklim makro berupa temperatur udara yang tinggi, kelembaban udara yang tinggi, intensitas radiasi matahari yang tinggi, dan kecepatan angin yang kecil. Dengan demikian kecepatan angin yang dapat dimodifikasi oleh lansekap dapat mempengaruhi nilai kelembaban, namun tidak bisa mempengaruhi temperatur udara.

- Model sistem lingkungan termal perkotaan dijelaskan berdasarkan deskripsi dari berbagai variabel dengan menggabungkan pernyataan-pernyataan tentang hubungan-hubungan dinamis di antara parameter desain, yaitu sebagai berikut:
  - Pengkondisian tipe lansekap yang terdiri dari PLB+PLA+P+B lebih efektif dibandingkan PLB+PLA dalam menciptakan kenyamanan termal ruang luar. Hal ini dikarenakan komposisi, konfigurasi dan pembayangan saling berpengaruh di pengkondisian PLB+PLA+P+B, sementara pengkondisian PLB+PLA hanya komposisi lansekap yang signifikan berpengaruh. Hal ini dipengaruhi oleh proses penyerapan dan pelapasan panas oleh permukaan penutup lahan terkait dengan sifat radiasi dan termal yang mempengaruhi albedo permukaan penutup lahan. Andreou (2013) menjelaskan bahwa pengaruh albedo permukaan penutup lahan sangat besar pengaruhnya terhadap jalan yang memiliki nilai H/W kecil. Sementara di jalan dengan nilai H/W yang tinggi pengaruh albedo permukaan sangat kecil dibandingkan pengaruh dari geometri jalan itu sendiri (H/W).
  - Penggunaan pohon yang tepat baik secara komposisi dan konfigurasi merupakan salah satu kontrol strategi untuk dapat menciptakan kenyamanan termal ruang luar. Khususnya untuk daerah tropis lembab, pada lokasi penelitian : penambahan pohon sebesar 50% dalam satu tipe lansekap yang paling efektif dapat menurunkan kenyamanan termal ruang luar PET sebesar 18,8% (7,8 K). Demikian juga untuk penurunan temperatur udara yang paling efektif yaitu penambahan pohon 50% dapat menurunkan temperatur udara 3,5% (1,06K). Edward Ng dkk (2012) yang meneliti tentang efek dari jumlah, jenis dan posisi penghijauan di pedestrian menyimpulkan bahwa penambahan pohon 50% pohon dapat mengurangi temperatur perkotaan sebesar 1,3°C selama siang hari di daerah panas lembab Hong Kong.
  - Peningkatan nilai H/W pada orientasi Utara-Selatan secara signifikan lebih dapat menciptakan kenyamanan termal ruang luar dibandingkan pada orientasi Timur-Barat. Khususnya untuk di lokasi penelitian Surabaya dan kota-kota besar di Indonesia. Bangunan bertingkat menengah (*midrise*) ( $H/W \leq 1,5 - 2$ ) dan bertingkat tinggi (*highrise*) ( $H/W \geq 3$ ) secara signifikan dapat menciptakan kenyamanan termal. Oke (1981); Johansson (2006); Rose (2011); Andreou (2013) dan Paramita dkk (2014) menjelaskan adanya pengaruh signifikan nilai H/W terhadap kenyamanan termal ruang luar PET.







## **BAB 7**

### **KESIMPULAN DAN SARAN**

#### **7.1. Kesimpulan**

Kesimpulan ini disusun berdasarkan urutan pertanyaan dan tujuan penelitian, yaitu pertama menjelaskan karakteristik tipe lansekap dan pembayangan, kedua menjelaskan kondisi lingkungan termal dengan menganalisa hubungan antara lansekap dan pembayangan dengan kondisi iklim mikro, ketiga menjelaskan model sistem lingkungan termal perkotaan sehingga menghasilkan rekomendasi desain berupa tipe lansekap yang optimal yang dapat diterapkan untuk daerah tropis lembab.

##### **7.1.1. Karakteristik Komposisi dan Konfigurasi serta Pembayangan Lansekap Ruang Kota**

Karakteristik komposisi dan konfigurasi serta pembayangan lansekap ruang kota diperoleh dengan menggunakan metode survei lapangan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa dari delapan tipe lansekap dari konsep LCZ (*Local Climate Zone*) Stewart (2009) yang dipertimbangkan dari penelitian ini, ada empat tipe lansekap diantaranya yang dapat mewakili khususnya untuk di daerah tropis lembab (Tabel 7.1). Empat tipe lansekap tersebut adalah (a) Tipe lansekap *Open-set Highrise* mewakili tipe OSH dengan kriteria penutup lahan buatan sekitar  $\pm 40-70\%$ , penutup lahan alami  $\pm 30-60\%$  dan nilai  $H/W > 2$ . (b) Tipe lansekap bersifat *Open-set* mewakili tipe OSM, OSL dan EL dengan kriteria penutup lahan buatan sekitar  $\pm 40-70\%$ , penutup lahan alami  $\pm 30-60\%$  dan nilai  $H/W < 2$ . (c) Tipe lansekap bersifat *Compact* yang mewakili tipe CM, CL dan DL dengan kriteria penutup lahan buatan sekitar  $\pm 60-90\%$ , penutup lahan alami  $\pm 10-40\%$  dan nilai  $H/W < 2$ . (d) Tipe lansekap kawasan hijau mewakili OST dengan kriteria lahan alami 50-70% dan lahan terbangun 30-50%.

Dengan demikian, konsep LCZ tersebut bisa diterapkan di daerah tropis lembab sebagai acuan untuk mendesain perkotaan dengan memperhatikan komposisi dan konfigurasi lansekap serta pembayangan yang dihasilkan oleh

lansekap. Kriteria ini diterapkan dalam 1 kawasan iklim mikro dengan radius 1-10 Km, sehingga teridentifikasi kondisi iklim mikro dan dapat menciptakan kenyamanan termal ruang luar dalam 1 kawasan iklim mikro, sehingga bisa menciptakan kenyamanan termal ruang luar lebih luas lagi untuk sebuah perkotaan. Konsep LCZ untuk suatu tipe lansekap ruang kota dapat diterapkan di berbagai perkotaan dengan mempertimbangkan kondisi iklim setempat, sehingga dengan karakteristik berupa komposisi dan konfigurasi dari penutup lahan sebuah lansekap dapat memperbaiki temperatur udara.

Tabel 7.1 Tipe Lansekap

Tipe Lansekap dari Konsep LCZ (Stewart, 2009)	Tipe Lansekap Khusus di Daerah Tropis Lembab (Fetty, 2016)
Open-set Highrise (OSH)	Open-set Highrise (OSH)
Open-set Midrise (OSM)	Open-set
Open-set Lowrise (OSL)	
Extensive Lowrise (EL)	
Compact Midrise (CM)	Compact
Compact Lowrise (CL)	
Disperse Lowrise (DL)	
Open-set Trees (OST)	Kawasan Hijau

Konsep LCZ ini menawarkan dan menyampaikan prinsip-prinsip iklim perkotaan melalui skala spasial (mikro, lokal) dan elemen desain seperti tinggi bangunan dan ratio penutup lahan hijau yang relevan dengan banyak disiplin ilmu klimatologi perkotaan. Brown & Gillespie (1995), Givoni (1998) dan Brown (2011) juga menjelaskan bahwa untuk dapat memodifikasi kondisi iklim yaitu melalui sebuah desain yang menggabungkan aspek *bioclimatic* dan desain lingkungan ruang luar. Jadi dapat disimpulkan bahwa sebuah desain perkotaan dapat memodifikasi kondisi iklim jika memperhatikan karakteristik komposisi dan konfigurasi lansekap ruang kota, sebagai berikut:

1. Komposisi merupakan proporsi dari jenis komponen penutup lahan yang terdiri dari tipe lansekap yang bersifat *open-set* (lahan terbangun 60-70% dan lahan alami 30-40%), *compact* (lahan terbangun 80-90% dan lahan alami 10-20%) dan kawasan hijau (lahan alami 50-70% dan lahan terbangun 30-50%).

2. Konfigurasi merupakan karakteristik spasial, pengaturan, posisi dan kompleksitas penutup lahan. Parameter desain yang dapat diterapkan untuk dapat menghasilkan sebuah konfigurasi lansekap yang baik yaitu : orientasi kawasan, pola perletakan bangunan, perbandingan nilai H/W, pola perletakan vegetasi.
3. Besar kecilnya persentase bayangan yang dihasilkan di setiap tipe lansekap tergantung dari beberapa parameter desain, yaitu pola perletakan bangunan dan vegetasi yang berhubungan dengan orientasi jalan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa tipe lansekap OSH dengan nilai H/W 3 dan berada di orientasi Timur – Barat cenderung menghasilkan persentase yang lebih besar dibanding tipe lansekap lainnya yang memiliki nilai  $H/W < 1,5$  dan berada di orientasi Utara – Selatan. Sebagaimana Emmanuel dkk (2007) menjelaskan bahwa bayangan perkotaan (*Urban Shading*) merupakan fungsi dari orientasi jalan dan perbandingan nilai H/W, namun perbandingan nilai H/W dan orientasi jalan bangunan ini harus sesuai untuk dapat menghasilkan pembayangan yang baik.

#### **7.1.2. Pengaruh Komposisi dan Konfigurasi serta Pembayangan yang dihasilkan oleh Lansekap Ruang Kota terhadap Kondisi Lingkungan Termal Perkotaan**

Untuk menghasilkan bagaimana pengaruh komposisi dan konfigurasi serta pembayangan yang dihasilkan oleh lansekap ruang kota terhadap kondisi lingkungan termal perkotaan dilakukan dengan menggunakan metode simulasi. Kemudian dianalisa menggunakan metode korelasi untuk melihat hubungan antara variabel penelitian.

Hasil penelitian menyimpulkan bahwa komposisi dan konfigurasi lansekap serta pembayangan yang dihasilkan oleh lansekap sangat mempengaruhi kondisi lingkungan termal perkotaan. Dengan kata lain antar parameter desain tersebut saling berhubungan dalam mempengaruhi kondisi lingkungan termal perkotaan, namun konfigurasi lansekap dan pembayangan lebih signifikan mempengaruhi kondisi termal dibandingkan komposisi lansekap. Adapun penjelasannya sebagai berikut:

1. Komposisi lansekap: proporsi dari komponen penutup lahan.

Komposisi lansekap memiliki pengaruh yang paling signifikan terhadap peningkatan dan penurunan temperatur udara. Hal ini terkait dengan masing-masing komponen penutup lahan yang memiliki sifat radiasi dan termal yang mempengaruhi efek albedo dari permukaan penutup lahan. Tidak selamanya tipe lansekap yang memiliki penutup lahan alami lebih tinggi dibandingkan penutup lahan buatan dapat menurunkan temperatur udara, hal ini tergantung dari penempatan dan pengaturan dari masing-masing komponen penutup lahan. Sementara teori menyebutkan bahwa semakin banyak permukaan penutup lahan alami dapat memberikan efek pendinginan yang lebih signifikan terhadap penurunan temperatur udara (Yu dan Hien, 2006). Dimana penempatan tersebut akan dapat memodifikasi elemen iklim yang berbeda-beda, seperti pergerakan aliran udara yang dapat memberikan efek pendinginan (Brown, 2010).

Dapat disimpulkan bahwa komposisi lansekap berupa komponen penutup lahan tidak dapat berdiri sendiri dalam mempengaruhi kondisi termal perkotaan. Artinya, perlu saling terkait antar parameter desain lainnya, seperti orientasi jalan, pola penataan vegetasi, perbandingan nilai H/W dan pola pembayangan yang juga berbeda-beda dalam mempengaruhi kondisi termal. Hal ini didukung oleh penelitian Andreou (2013) yang menjelaskan bahwa pengaruh albedo permukaan penutup lahan sangat besar pengaruhnya terhadap temperatur udara pada jalan yang memiliki nilai H/W kecil. Sementara di jalan dengan nilai H/W yang tinggi pengaruh albedo permukaan sangat kecil dibandingkan pengaruh dari geometri jalan itu sendiri (H/W). Artinya adanya hubungan antara penutup lahan dan nilai H/W.

2. Konfigurasi lansekap: karakteristik spasial, pengaturan, posisi dan kompleksitas penutup lahan.

Masing-masing konfigurasi ini memiliki pengaruh yang berbeda-beda terhadap kondisi lingkungan termal. Adapun pengaruhnya sebagai berikut:

- Orientasi jalan merupakan faktor fundamental dalam memberikan perolehan kecepatan angin dan persentase pembayangan, sehingga dapat menurunkan temperatur udara.

- Pola massa bangunan sangat berpengaruh terhadap peningkatan temperatur dan perolehan kecepatan angin, serta mempengaruhi penerimaan durasi intensitas radiasi matahari langsung.
- Perbandingan nilai H/W akan berpengaruh pada perolehan bayangan, kecepatan angin, intensitas radiasi matahari dan temperatur udara.
- Pola penataan vegetasi berpengaruh pada perolehan bayangan, peningkatan dan penurunan temperatur udara, kelembaban udara dan kecepatan angin serta dapat mengontrol penerimaan radiasi matahari secara langsung.

Dari penjelasan pengaruh konfigurasi ini, yang sangat berpengaruh terhadap kenyamanan termal ruang luar adalah orientasi jalan dan perbandingan nilai H/W, karena memiliki peran yang sama, yaitu dapat mengontrol perolehan kecepatan angin dan penerimaan radiasi matahari. Sebagaimana aplikasi untuk di daerah tropis lembab dalam perancangan lansekap ruang luar perlu mengontrol dua elemen iklim tersebut sehingga dapat menciptakan kenyamanan termal ruang luar yang optimum. Hal ini diperkuat dengan penelitian Johansson (2006) dan Emmanuel (2007) menjelaskan bahwa untuk menciptakan kenyamanan termal ruang luar dipengaruhi oleh orientasi jalan dan perbandingan nilai H/W, namun orientasi jalan dan perbandingan nilai H/W masih harus mempertimbangkan komposisi lansekap (proporsi penutup lahan) dan konfigurasi lansekap (pola penataan bangunan dan vegetasi).

### 3. Pembayangan yang dihasilkan oleh lansekap

Kondisi termal di suatu tipe lansekap pada daerah yang terbayangi tidak selalu menunjukkan kondisi yang lebih baik dari pada daerah yang tidak terbayangi. Dengan kata lain pembayangan yang dihasilkan dapat menurunkan dan menaikkan temperatur udara. Hal ini tergantung dari konfigurasi lansekap yaitu perletakan pohon atau bangunan yang dapat menghasilkan bayangan. Selama siang hari pembayangan dari pohon (karakteristik pohon) lebih efisien dari pada bayangan dari bangunan, namun perlu dilihat komponen elemen penutup lahan yang berada di bawah daerah yang terbayangi.

Dengan demikian penyediaan tambahan bayangan dari vegetasi (pohon) sangat diperlukan. Dimana, kelimpahan pohon merupakan salah satu karakteristik dari daerah tropis lembab yaitu berupa hutan hujan tropis. Oleh karena itu, pemanfaatan pohon ini sangat memberikan pengaruh terhadap kenyamanan termal ruang perkotaan, dengan strategi penataan yang tepat, untuk menghindari terjadinya terhalangnya angin, serta pelepasan panas.

Dapat disimpulkan bahwa khususnya untuk daerah tropis lembab, kondisi lingkungan termal baik pada bulan terpanas dan terdingin akan dipengaruhi berbeda oleh lansekap dan pembayangan.. Hasil penelitian menunjukkan bahwa baik pada bulan terpanas dan terdingin lansekap dapat memodifikasi elemen iklim berupa kecepatan angin dan kenyamanan termal ruang luar PET. Sementara Brown dan Gillespie (1995) ; Brown (2010 ; 2011) mengemukakan bahwa desain lansekap secara signifikan dapat memodifikasi elemen iklim mikro berupa radiasi matahari dan pergerakan angin, sedangkan temperatur udara, kelembaban udara dan curah hujan merupakan elemen yang tidak terlalu penting dalam desain lansekap untuk memodifikasi elemen iklim mikro. Terdapat perbedaan dengan hasil penelitian yang menunjukkan pada bulan terdingin kelembaban udara dan temperatur radiasi matahari dapat dipengaruhi oleh lansekap. Sebagaimana iklim di daerah tropis lembab memiliki karakteristik temperatur udara, kelembaban udara, intensitas radiasi matahari yang tinggi, dan kecepatan angin yang kecil.

#### **7.1.3. Model Sistem Lingkungan Termal Perkotaan yang dipengaruhi oleh Komposisi dan Konfigurasi lansekap serta Pembayangan terhadap Kondisi Lingkungan Termal**

Model sistem lingkungan termal perkotaan dijelaskan berdasarkan deskripsi dari berbagai variabel dengan menggabungkan pernyataan-pernyataan tentang hubungan-hubungan dinamis di antara parameter desain (Moore and Marans, 1997). Model sistem lingkungan termal perkotaan tersebut dijelaskan menggunakan indeks kenyamanan termal ruang luar PET ( $^{\circ}\text{C}$ ) (*Physiologically Equivalent Temperature*) dengan hasil akhir berupa model skematik. Metode yang digunakan yaitu metode eksperimen. Hasilnya menjelaskan seberapa besar

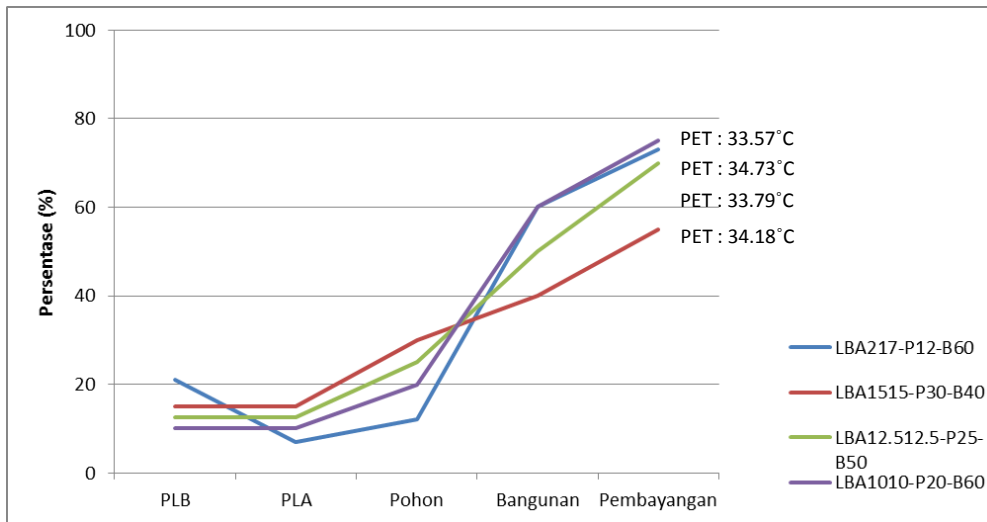
pengaruh komposisi berupa proporsi penutup lahan, konfigurasi berupa orientasi jalan dan perbandingan nilai H/W, serta pembayangan yang dihasilkan pada tipe lansekap terhadap kondisi kenyamanan termal ruang luar. Hasil penelitian menunjukkan sebagai berikut :

- Pengkondisian tipe lansekap yang terdiri dari PLB+PLA+P+B lebih efektif dibandingkan PLB+PLA dalam menciptakan kenyamanan termal ruang luar. Hal ini dikarenakan komposisi, konfigurasi dan pembayangan saling berpengaruh di pengkondisian PLB+PLA+P+B, sementara pengkondisian PLB+PLA hanya komposisi lansekap yang signifikan berpengaruh. Hal ini dipengaruhi oleh proses penyerapan dan pelapasan panas oleh permukaan penutup lahan terkait dengan sifat radiasi dan termal yang mempengaruhi albedo permukaan penutup lahan. Andreou (2013) menjelaskan bahwa pengaruh albedo permukaan penutup lahan sangat besar pengaruhnya terhadap jalan yang memiliki nilai H/W kecil. Sementara di jalan dengan nilai H/W yang tinggi pengaruh albedo permukaan sangat kecil dibandingkan pengaruh dari geometri jalan itu sendiri (H/W).
- Penggunaan pohon yang tepat baik secara komposisi dan konfigurasi merupakan salah satu kontrol strategi untuk dapat menciptakan kenyamanan termal ruang luar. Khususnya untuk daerah tropis lembab, pada lokasi penelitian, penambahan pohon sebesar 50% dalam satu tipe lansekap dengan karakteristik lansekap proporsi penutup lahan (PLB+PLA+P) 50% dan (B) 50%, nilai H/W 2 yang paling efektif dapat menurunkan kenyamanan termal ruang luar PET sebesar 18,8% (7,8 K). Demikian juga untuk penurunan temperatur udara yang paling efektif yaitu penambahan pohon 50% dapat menurunkan temperatur udara 3,5% (1,06K). Edward Ng dkk (2012) yang meneliti tentang efek dari jumlah, jenis dan posisi penghijauan di pedestrian menyimpulkan bahwa penambahan pohon 50% pohon dapat mengurangi temperatur perkotaan sebesar 1,3°C selama siang hari di daerah panas lembab Hong Kong.
- Bangunan bertingkat menengah (*midrise*) ( $H/W \leq 1,5 - 2$ ) dan bertingkat tinggi (*highrise*) ( $H/W \geq 3$ ) secara signifikan dapat menciptakan kenyamanan termal.

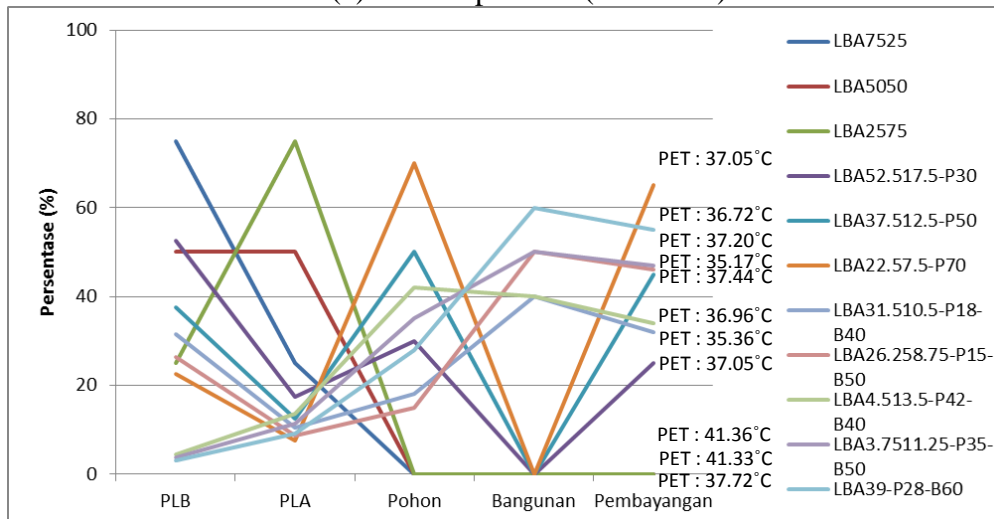


Setiap peningkatan perbandingan nilai H/W 1 dapat meningkatkan kenyamanan termal ruang luar PET dengan menurunkan temperatur udara  $\pm 1 - 3$  K. Oke (1981); Johansson (2006); Rose (2011); Andreou (2013) dan Paramita dkk (2014) menjelaskan adanya pengaruh signifikan nilai H/W terhadap kenyamanan termal ruang luar PET.

Dari penjelasan pengaruh komposisi, konfigurasi lansekap dan pembayangan tersebut terlihat pada Gambar 7.1 yang menunjukkan tipe-tipe lansekap yang termasuk dalam zona optimum dan tidak optimum dalam menciptakan kenyamanan termal ruang luar.



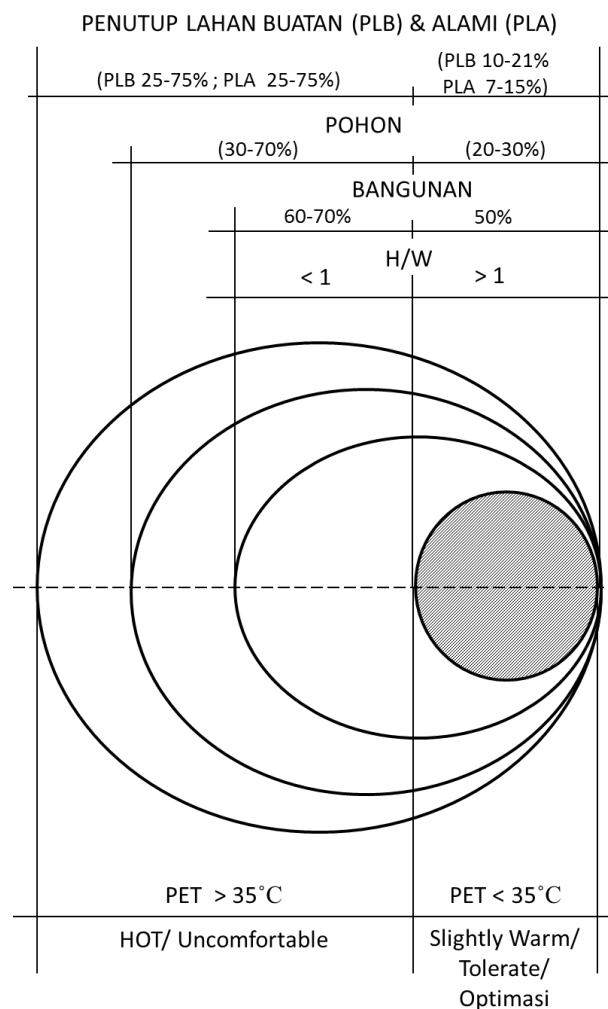
(a) Zona Optimum (PET < 35)



(b) Zona Tidak Optimum (PET > 35)

Gambar 7.1 Tipe-tipe Lansekap yang termasuk Zona Optimum dan Tidak Optimum

Zona optimum dapat terbentuk dari tipe lansekap yang dapat menciptakan kenyamanan termal ruang luar berada pada nilai PET kurang dari 35°C dengan kriteria perbandingan nilai H/W lebih dari 1 dan komposisi lansekap yang terdiri dari penambahan penutup lahan (PLB+PLA+P) 50% dan Bangunan (B) 50%. Sementara zona tidak optimum terbentuk dari PET lebih dari 35°C dengan kriteria perbandingan nilai H/W kurang dari 1 dan komposisi lansekap yang hanya terdiri dari PLB+PLA, PLB+PLA+P dan (PLB+PLA+P)40% + B60%. Dari zona optimum tersebut dapat diajukan suatu rekomendasi desain berupa tipe lansekap yang optimal untuk dapat diterapkan di daerah tropis lembab dengan komposisi dan konfigurasi lansekap LBA1010-P20-B60 yang menunjukkan nilai PET 33,57 °C (*slightly warm*).



Gambar 7.2 Model Skematik Sistem Lingkungan Termal Perkotaan di Daerah Tropis Lembab

Berdasarkan zona optimum dan tidak optimum tersebut, dapat menghasilkan model skematik sistem lingkungan termal perkotaan di daerah tropis lembab (Gambar 7.2). Model sistem lingkungan termal perkotaan tersebut menggambarkan hubungan antara komposisi, konfigurasi dan pembayangan terhadap kenyamanan termal ruang luar, yaitu berupa zona '*slightly warm*' dengan pola padat (H/W tinggi) dan menunjukkan nilai PET < 35 °C. Dengan demikian, hasil penelitian ini diharapkan dapat digeneralisasikan pada daerah iklim tropis lembab lainnya, dengan catatan apabila pada suatu daerah tertentu memiliki iklim makro dengan karakteristik yang hampir sama akan menciptakan iklim mikro yang hampir sama.

## 7.2. Kebaruan Hasil Penelitian

Kebaruan dari penelitian ini akan memberikan kontribusi pada pengembangan teori tentang tipe lansekap, pengaruh lansekap terhadap kondisi termal dan kenyamanan termal ruang luar PET (Gambar 7.3). Adapun kebaruan penelitian ini dijelaskan sebagai berikut:

1. Dari delapan tipe lansekap dari konsep LCZ (*Local Climate Zone*) Stewart (2009), ternyata khususnya untuk di daerah tropis lembab dapat dikelompokkan menjadi empat tipe lansekap karena memiliki kecenderungan kondisi lingkungan termal yang sama. Empat tipe lansekap tersebut adalah (a) tipe lansekap Open-set Highrise dengan kriteria penutup lahan buatan sekitar  $\pm 40-70\%$ , penutup lahan alami  $\pm 30-60\%$  dan nilai H/W > 2. (b) Tipe lansekap bersifat *Open-set* dengan kriteria penutup lahan buatan sekitar  $\pm 40-70\%$ , penutup lahan alami  $\pm 30-60\%$  dan nilai H/W < 2. (c) Tipe lansekap bersifat *compact* dengan kriteria penutup lahan buatan sekitar  $\pm 60-90\%$ , penutup lahan alami  $\pm 10-40\%$  dan nilai H/W < 2. (d) Tipe lansekap kawasan hijau dengan kriteria lahan alami 50-70% dan lahan terbangun 30-50%.
2. Khususnya di daerah tropis lembab konfigurasi lansekap (orientasi jalan dan perbandingan nilai H/W) dan pembayangan yang dihasilkan lansekap perkotaan lebih signifikan dibandingkan komposisi lansekap (proporsi penutup lansekap) dalam mempengaruhi kondisi termal dan kenyamanan termal ruang luar PET. Pengembangan teori pengaruh lansekap terhadap kondisi termal dan

kenyamanan termal ruang luar oleh Brown dan Gillespie (1995) ; Brown (2010 ; 2011) dan Du, Shihong dkk (2016) menjelaskan bahwa konfigurasi lansekap lebih mempengaruhi dibandingkan komposisi lansekap terhadap temperatur permukaan penutup lahan

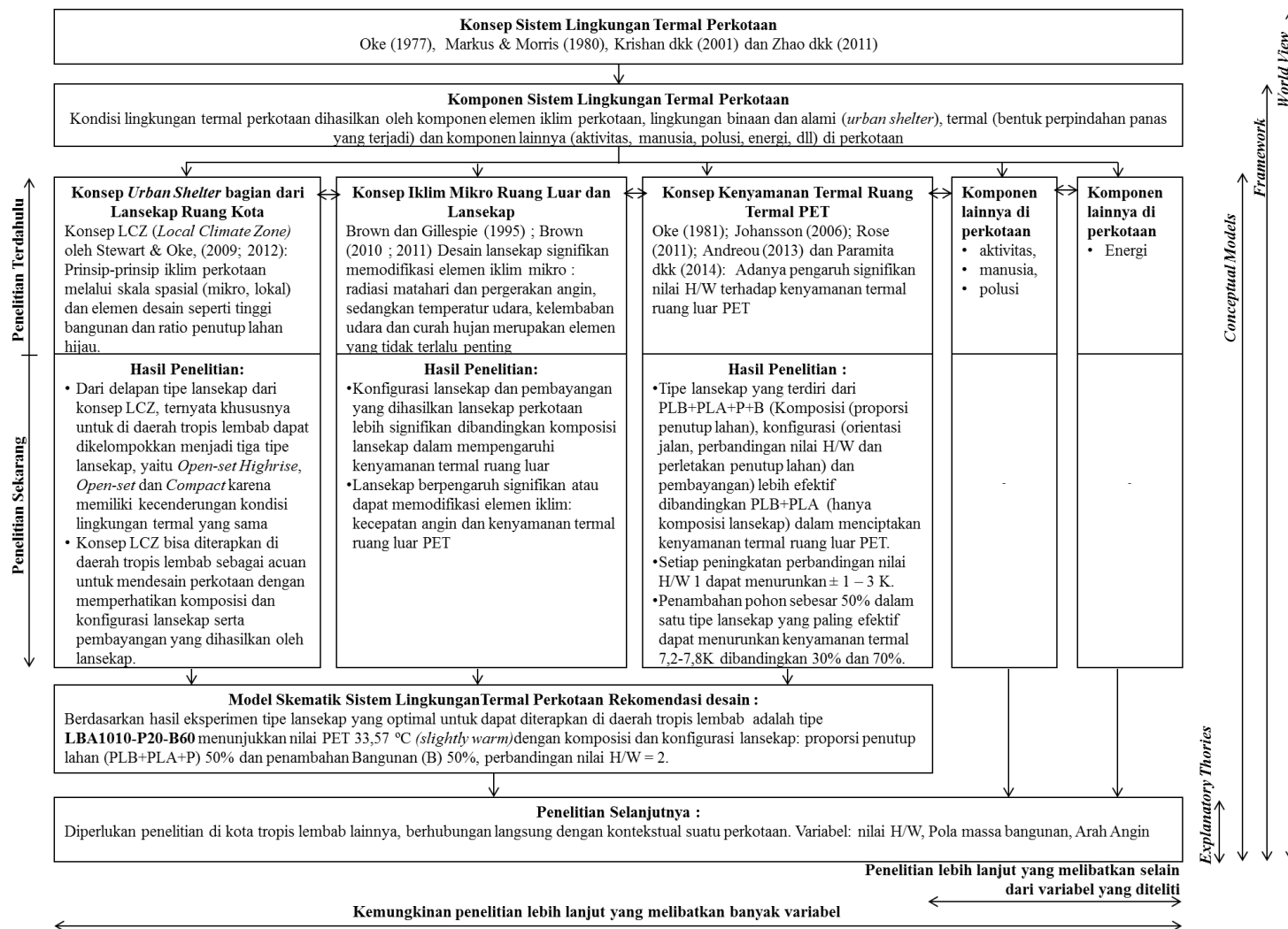
3. Model skematik sistem lingkungan termal perkotaan di daerah tropis lembab menggambarkan bahwa hubungan antara komposisi (persentase penutup lahan), konfigurasi (perbandingan nilai H/W) dan pembayangan terhadap kenyamanan termal ruang luar PET, yaitu berupa zona '*slightly warm*' dengan pola padat (H/W tinggi) dan menunjukkan nilai  $PET < 35\text{ }^{\circ}\text{C}.$

### 7.3. Saran

Berdasarkan kebaruan dari penelitian di atas, yaitu tipe lansekap, kondisi lingkungan termal perkotaan dan model skematik sistem lingkungan termal perkotaan khususnya di daerah tropis lembab, dengan demikian penelitian ini dapat digunakan sebagai dasar untuk penelitian selanjutnya berupa kenyamanan termal ruang luar.

Untuk penelitian lebih lanjut, terkait karakteristik lansekap dan pembayangan dapat lebih jelas dengan menambahkan lebih detail karakteristik tentang pohon (jenis dan ukuran karakteristik pohon). Penambahan karakteristik ini menjelaskan dalam perhitungan persentase pembayangan oleh pohon dan pengaruh terhadap kondisi termal. Terkait dengan elemen iklim mikro yang diukur, pencatatan variabel arah datang angin dapat ditambahkan pada saat pengukuran lapangan, sehingga lebih detail dalam menganalisa pengaruh angin terhadap kondisi termal.

Selain itu, usulan penelitian selanjutnya dapat membangun *explanatory theories* yang lebih bersifat kontekstual (budaya, tempat dan waktu). Dari hasil penelitian ini berupa model lansekap, dapat dilakukan penelitian di daerah tropis lembab lainnya. Dengan harapan apakah hasil yang di dapat di kota Surabaya bisa diterapkan di kota tropis lembab lainnya, sehingga bisa lebih digeneralisasi. Misalnya dengan mempertimbangkan perbandingan nilai H/W dengan pola massa bangunan yang akan berpengaruh terhadap arah dan kecepatan angin, sehingga menghasilkan sistem lingkungan termal perkotaan.



Gambar 7.3 Kebaruan Hasil Penelitian

Untuk praktisi, hasil temuan ini berupa konsep kriteria LCZ (*Local Climate Zone*) cocok untuk diterapkan dalam perencanaan dan pembangunan kota untuk di daerah tropis lembab. Model sistem lingkungan termal yang ada dapat digunakan sebagai acuan untuk dapat menciptakan suatu kondisi kenyamanan termal ruang luar pada suatu tipe lansekap ruang kota dengan memperhatikan komposisi (proporsi penutup lahan) dan konfigurasi (Orientasi jalan dan perbandingan nilai H/W) lansekap yang telah dihasilkan.

**Halaman ini sengaja dikosongkan**

## DAFTAR PUSTAKA

- Abreu-Harbach, Loyde Vieira de., Labaki, Lucila Chebel., Matzarakis, Andreas., (2015), "Effect of tree planting design and tree species on human thermal comfort in the tropics", *Landscape and Urban Planning*, Vol.138, Hal. 99–109
- Adebayo, Yinka R., (1990), "Aspects of The Variation in Some Characteristics of Radiation Budget within The Urban Canopy of Ibadan", *Atmospheric Environment*, Vol. 24B, No. 1, hal. 9-17.
- Ahmed, Khandaker Shabbir., (2003), "Comfort in urban spaces: defining the boundaries of outdoor thermal comfort for the tropical urban environments", *Energy and Buildings*, Vol.35, Hal. 103–110
- Allard, Francis., (1998), *Natural Ventilation in Buildings: A Design Handbook*, James & James (Science Publishers) Ltd, London.
- Ali-Toudert, F. – Mayer, H. (2005). "Thermal comfort in urban streets with trees under hot summer conditions". Proc. 22th Conference on Passive and Low Energy Architecture (PLEA), Beirut, Lebanon. 13-16 Nov. 2005, Vol. 2. pp. 699-704.
- Ali-Toudert, F. – Mayer, H. (2007). "Effects of asymmetry, galleries, overhanging facades and vegetation on thermal comfort in urban street canyons", *Solar Energy*, Vol. 81, Hal.742–754
- Andreou, E., (2013), "Thermal comfort in outdoor spaces and urban canyon microclimate", *Renewable Energy*, Vol. 55, Hal. 182-188
- Arnfield, J., (2003). "Two decades of urban climate research: A review of turbulence, exchanges of energy and water, and the urban heat island". *Int. J. Climatol.* Vol.23. Hal. 1-26.
- Antaryama, IGN., Noerwasito, Totok., Srilestrai, Rosalia Niniek., Santoso, Heru., Samodra, FX. T.B.S., (2008), *Sistem Pendinginan Psip (Passive Cooling) Pada Bangunan Di daerah Tropis untuk Upaya Pembangunan yang Berkelanjutan*, Lembaga Penelitian dan Pengabdian Kepada Masyarakat, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.
- Antaryama, IGN., Ekasiwi, S.N.N., Cahyono, B.C., Samodra, FX. T.B.S, (2010), *Penataan Bangunan Perumahan Perkotaan untuk Mengurangi Panas Lingkungan Akibat Pemanasan Global Di Jawa Timur*, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.
- Arvind, et al, (2001), *Climate Responsive Architecture: A Design Handbook for energy Efficient Building*, Tata McGraw-Hill, New Delhi.
- Arsa, HP., Hariyanto, Teguh., (2010), Pemetaan dan Penyusunan Basisdata Ruang Terbuka Hijau (Rth) Kota dengan Menggunakan Sistem Informasi Geografis (Studi Kasus Kota Surabaya), ITS, Surabaya.
- Bahar, Fetty Febriasti., Santosa, Happy Ratna., Antaryama, IG.Ngurah., (2011), "Landscape Architecture as a Factor in the Formation of Thermal Systems of Residential Areas", ANZAScA 2011: the 45th. Annual Conference of the Australian and New Zealand Architectural Science Association Faculty of Architecture, Design and Planning. The University of Sydney.
- Boutet, Terry., (1987), *Air Movement*, Mc Graw Hill Co., New York.



- Bourbia, F., Awbi, H.B., (2004), "Building cluster and shading in urban canyon for hot dry climate Part 1: Air and surface temperature Measurements", *Renewable Energy*, Vol 29, hal. 249–262.
- Bourbia, F., Awbi, H.B., (2004), "Technical note: Building cluster and shading in urban canyon for hot dry climate Part 2: Shading simulations", *Renewable Energy*, Vol 29, hal. 291–301.
- Branch, Melville C., (1996), *Terjemahan Perencanaan Kota Komprehensif Pengantar dan Penjelasan.*, Gajah Mada University Press, Yogyakarta.
- Brown, Robert D., Gillespie, Terry J., (1995), *Microclimatic Landscape Design: Creating Thermal Comfort and Energy Efficiency*, John Wiley & Son, Inc, New York
- Brown, Robert D., (2010), *Design With Microclimate: The Secret to Comfortable Outdoor Space*, Islandpress : London.
- Brown, Robert D., (2011), "Ameliorating the effects of climate change: Modifying microclimates through design", *Landscape and Urban Planning*, Vol 100, hal 372-374.
- Bruse, M., M. Bürger, A. Bohnstedt, A. Ihde, K. Jesionek, E. Lahme, (2002). "Measurements and model simulations in WP MICRORuhr-University Bochum, Institute of Geography, Research Group"
- Bruse, M. (2003) <http://envi-met.com/>
- Bruse, M., (2006). "ENVI-met 3 – a three dimensional microclimate model". Ruhr University at Bochum, Geographischer Institut, Geomatik. <http://www.envimet.com>.
- Bungin, Burhan, (2005), *Metodologi Penelitian Kuantitatif: Komunikasi, Ekonomi, dan Kebijakan Publik serta Ilmu-ilmu Sosial Lainnya edisi kedua*, Kencana Predana Media Group, Jakarta.
- Cha, Jae-Gyu., Jung, Eung-Ho., Ryu, Ji-Won., Kim, Dae-Wuk., (2007), "Constructing a Green Network to Alleviate the Urban Heat-Island Phenomenon: Focusing on Daegu Metropolitan City in Korea", *Real Corp 007 Proceddings*, Tangungsband Vienna.
- Chang, C.R., Li, M.H., Chang, S.D., (2007), "A preliminary study on the local cool-island intensity of Taipei city parks", *Landscape Urban Plann*, Vol 80, hal. 386–395.
- Du, Shihong., Xiong, Ziqian., Wang, Yi-Chen., Guo, Luo., (2016), "Quantifying the multilevel effects of landscape composition and configuration on land surface temperature", *Remote Sensing of Environment*, Vol 178, hal 84-92.
- Dwiyanto, Agung., (2009), "Kuantitas dan Kualitas Ruang Terbuka Hijau (RTH) di permukiman Kota", eprints.undip.ac.id. (15 Mei 2010).
- Emmanuel, R., Rosenlund, H., Johansson, E., (2007), "Urban Shading – a design option for the Tropics? A Study in Colombo, Sri Lanka", *International Journal Of Climatology*, Vol.27.
- Givoni, Baruch., (1994). "Urban Design for Hot Humid Region", *Renewable Energy*, Vol.5, Hal. 1047-1053.
- Givoni, Baruch., (1998). *Climate Considerations in Building and Urban Design*, John Wiley & Sons, Inc., New York.

- Gómez-Muñoz, VM., Porta-Gándara, MA., Fernández, JL., (2010), "Effect of tree shades in urban planning in hot-arid climatic regions". *Landscape and Urban Planning*, Vol 94, hal. 149-157.
- Grimmond, CSB., Souch, C., Hubble, M.D., (1996), "Influence of tree cover on summertime surface energy balance fluxes, San Gabriel Valley, Los Angeles". *Climate Research*, Vol 6, hal 45-57.
- Grimmond, CSB., Roth, M., Oke, TR., Au, YC., dkk., (2010), "Climate and More Sustainable Cities: Climate Information for Improved Planning and Management of Cities (Producer/Capabilities Perspective)". *Procedia Environmental Sciences I*, hal 247-274.
- Groat, Linda., Wang, David., (2002), *Architectural Research Methods*, John Wiley & Sons, Inc, Canada.
- Hasan, Iqbal., (2002), *Pokok-pokok Materi Metodologi Penelitian dan Aplikasinya*, Ghalia Indonesia, Jakarta.
- Hakim, Rustam., (2000), *Ruang Terbuka dan Ruang Terbuka Hijau*, WordPress.com, weblog.
- Höppe, P., (1999), "The physiological equivalent temperature in an universal index for the biometeorological assessment of the thermal environment". , Vol.43, Hal.71-75.
- Hopper, (2007), *Landscape Architectural Graphic Standards*, John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, New Jersey.
- Hough, Michael., (1984), *City Form and Natural Process*, Routledge, London and New York.
- Hongbing W., Qin Jun, Yonghong, Dong Li., (2010), "Optimal tree design for daylighting in residential buildings", *Building and Environment*, Vol 45, hal. 2594-2606.
- Huang, Liangmei., Li, Jianlong., Zhao, Dehua., Zhu, Jiyu., "A fieldwork study on the diurnal changes of urban microclimate in four types of ground cover and urban heat island of Nanjing, China", *Building and Environment*, Vol. 43, hal. 7–17.
- Hwang, Lin, Matzarakis, (2011), "Seasonal effects of urban street shading on long-term outdoor thermal comfort", *Building and Environment*, Vol 46, hal. 863-870.
- Jamei, Elmira., Rajagopalan, Priyadarsini., Seyedmahmoudian, Mohammadmehdi., Jamei, Yashar., (2016), "Review on the impact of urban geometry and pedestrian level greening on outdoor thermal comfort", *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Vol.54, Hal. 1002-1017
- Johansson, E., (2006), "Influence of urban geometry on outdoor thermal comfort in a hot dry climate: A study in Fez, Morocco", *Building and Environment*, Vol 41, hal. 1326–1338.
- Johansson, Erik., Thorsson, Sofia., Emmanuel, Rohinton., Kruger, Eduardo., (2014), "Instruments and methods in outdoor thermal comfort studies – The need for standardization", *Urban Climate*, Vol.10, hal 346-366.
- Juhana, Said., (2013), *Pemanfaatan Potensi Iklim Makro Daerah Pantai Untuk Optimalisasi Kenyamanan Termal Lingkungan Kampus di Kota Makassar*, Disertasi, Institut Teknologi Bandung.

- Jusuf, Steve Kardinal., Wong, N.H., Hagen, Emlyn., Anggoro, Roni., Hong, Yan., (2007), "The influence of land use on the urban heat island in Singapore", *Habitat International*, Vol 31, hal. 232-242.
- Kakon, Anisha Noori., Mishima, Nobuo., (2012), "The Effects of Building Form on Microclimate and Outdoor Thermal Comfort in a Tropical City", *Journal of Civil Engineering and Architecture*, Vol.6, hal. 1492-1503.
- Koenigsberger, Ingersoll, Mayhew, Szokolay, (1973), *Manual of Tropical Housing and Building: Part 1 Climatic Design*, Logman Group Limited, London.
- Koerniawan, M. Donny., Gao, Weijun., (2015), "Thermal Comfort Investigation in Three Hot-Humid Climate Theme Parks in Jakarta", *American Journal of Environmental Sciences*.
- Krishan, A., Baker, N., Yannas, S., Szokolay, SV., (2001), *Climate Responsive Architecture, A Design Handbook for Energy Design Buildings*, Tata McGraw-Hill Publishing Company Ltd., New Delhi.
- Kukreja, CP., (1978), *Tropical Architecture*, New Delhi: Tata McGraw-Hill. Chicago
- Li, Junxiang., Song, C., Zhu, F., Meng, X., Wu, J., (2011), "Impacts of landscape structure on surface urban heat islands: A case study of Shanghai, China", *Remote Sensing of Environment*, Vol 115, hal. 3249–3263.
- Lin, T.P., (2009), "Thermal perception, adaptation and attendance in a public square in hot and humid regions", *Building and Environment*, Vol.44, Hal. 2017-2026.
- Lin, Matzarakis, Hwang, (2010), "Shading effect on long-term outdoor thermal comfort", *Building and Environment*, Vol 45, hal. 213–221.
- Liu, H., Weng, Q., (2008). "Seasonal variations in the relationship between landscape pattern and land surface temperature in Indianapolis, USA". *Environmental Monitoring and Assessment*, Vol 144 (1-3), hal. 199-219.
- Lippsmeier, G., (1994), *Buku Terjemahan: Bangunan Tropis*, Erlangga, Jakarta.
- Lun, Isaac., Mochida, Akashi., Ooka, Ryoza., (2009), "Progress in Numerical Modelling for Urban Thermal Environment Studies", *Advances In Building Energy Research*, Vol.3, Hal. 147-188.
- Makaremi N., Salleh E., Jaafar M.Z., Hoseini A.H.G., (2012), "Thermal comfort conditions of shaded outdoor spaces in hot and humid climate of Malaysia ", *Building and Environment*, Vol 48, hal. 7-14.
- Markus & Morris, (1980), *Building, Climate and Energy*, Pitman, London.
- Middel, Ariane., Hab, Kathrin., Brazel, Anthony J., Martin, Chris A., Guhathakurta, Subhrajit., (2014), "Impact of urban form and design on mid-afternoon microclimate in Phoenix Local Climate Zones", *Landscape and Urban Planning*, Vol 122, hal. 16-28.
- Mirzaei, Parham A., Haghighat, Fariborz., (2010). "Approaches to study urban heat island – abilities and limitations". *Building and Environment*, Vol 45, Hal. 2192-2201
- McPherson, Gregory., Rowntree, Rowan A., (1993), "Energy Conservation Potential Of Urban Tree Planting", *Journal of Arboriculture* 19(6), hal. 321-331.

- Moore, Gary T., Marans, Robert W., (1997), “*Advances in Environment, Behaviour, and Design Volume 4 : Toward the Integration of Theory, Methods, Research, and Utilization*”, Springer Science+Business Media, New York.
- Nichol, Janet E., Fung, Wing Yee., Lam, Ka-se., Wong, Man Sing., (2009), “Urban heat island diagnosis using ASTER satellite images and ‘in situ’ air temperature”, *Atmospheric Research*, Vol.94, Hal.276-284.
- Nunez, M., Oke, T.R., (1977), “The Energy Balance of an Urban Canyon”, *Journal of Applied Meteorology*, Vol.16: Issue.1.; hal 11-19.
- Nyuk Hien Wong, Chen Yu, (2005), “Study of green areas and urban heat island in a tropical city”, *Habitat International* 29, hal. 547–558.
- Obi, Arc. N.I., (2014). “ The influence of vegetation on microclimate in hot humid tropical environment-a case of enugu urban”. *International Journal of Energy and Environmental Research*, Vol.2, Hal. 28-38
- Olgyay, Victor., (1992), *Design with Climate: Bioclimatic Approach to Architectural Regionalism*, Van Nostrand Reinhold, New York.
- Oke, T.R., (1976), “The distinction between canopy and boundary layer urban heat islands”, *Atmosphere*, Vol 14, hal. 268–277.
- Oke, T.R., (1982), “The energetic basis of the urban heat island”, *Quarterly Journal Of The Royal Meteorological Society*, Vol.108.
- Oke, T.R., (1984), “Towards a prescription for the greater use of climatic principles in settlement planning”. *Energy and Buildings*, vol 7, hal. 1-10.
- Oke T. R. (1977), *The climate of urban areas*. In A Textbook of Science and Future. Encyclopaedia Britannica, Chicago.
- Oke TR, 2004. *Initial Guidance to Obtain Representative Meteorological Observations at Urban Sites*. IOM Report 81, World Meteorological Organization, Geneva.
- Oke T.R., 2006, “Towards a better scientific communication in urban climate”, *Theoretical and Applied Climatology*, Vol 84, hal. 179-190
- Oleson, K. W., G. B. Bonan, J. Feddema, M. Vertenstein, and C. S. B. Grimmond, (2008), “An urban parameterization for a global climate model: 1. Formulation and evaluation for two cities”, *Journal of Applied Meteorology and Climatology* 47(4), hal. 1038-1060.
- Oliveira, et al., (2011), “The cooling effect of green spaces as a contribution to the mitigation of urban heat: A case study in Lisbon”, *Building and Environment*, Vol 46, hal. 2186-2194.
- Papadakis, G., Tsamis, P., Kyritsis, S., (2001), “An experimental investigation of the effect of shading with plants for solar control of building”. *Energy and Building*, Vol.33, Hal. 831-836.
- Paramita, Beta., Fukuda, Hiroatsu., (2014), ”Assessment of Flat in Bandung, Indonesia: An Approach to Outdoor Thermal Comfort at Hot-Humid Tropical, BauSIM.
- Picot, X., (2004), “Thermal comfort in urban spaces: impact of vegetation growth Case study: Piazza della Scienza, Milan, Italy”, *Energy and Buildings*, Vol 36, hal. 329–334.
- Robinette, Gary O., (1983), *Landscape Planning for Energy Conservation*, Van Nostrand Reinhold Company Inc, New York.

- Rose, Lilly., Horrison, Ebin., Venkatachalam, Lavanya J., (2011), "Influence Of Built Form on The Thermal Comfort of Outdoor Urban Spaces", The 5th International Conference of the International Forum on Urbanism (Ifou), National University of Singapura.
- Sangkertadi. (2012). "A Field Study Of Outdoor Thermal Comfort In The Warm-Humid Environment". 2nd CONVEEESH & 13Th SENVAR International Conference – Architecture Department - DWCU, Yogyakarta – 2012.
- Sangkertadi, (2013), *Kenyamanan Termis di Ruang Luar Beriklim Tropis Lembab*, Alfabeta : Bandung.
- Sangkertadi, S., Syafriny, R., (2014), "New Equation for Estimating Outdoor Thermal Comfort in Humid-Tropical Environment". *European Journal of Sustainable Development*, Vol3,4, hal.43-52.
- Shahidan M.F., Shariff M., Jones P., Salleh E., Abdullah A., (2010), " A comparison of Mesua ferrea L. and Hura crepitans L. for shade creation and radiation modification in improving thermal comfort", *Landscape and Urban Planning*, Vol 97, hal. 168–181.
- Shashua-Bar, L., Hoffman, M.E., (2000), "Vegetation as a climatic component in the design of an urban street: an empirical model for predicting the cooling effect of urban green areas with trees", *Energy and Buildings*, Vol 31, hal. 221–235.
- Shashua-Bar L, Hoffman, M.E., (2003), "Geometry and orientation aspects in passive cooling of canyon streets with trees", *Energy and Buildings*, Vol 35, hal. 61–68.
- Shashua-Bar L, Hoffman, M.E., (2004), "Quantitative evaluation of passive cooling of the UCL microclimate in hot regions in summer, case study: urban streets and courtyards with trees", *Building and Environment*, Vol 39, hal 1087-1099.
- Shashua-Bar, L, Pearlmutter, D & Erell, E 2011, 'The influence of trees and grass on outdoor thermal comfort in a hot-arid environment', *International Journal of Climatology*, Vol. 31, Hal.1498-506.
- Soegijanto, (1999), *Bangunan di Indonesia dengan Iklim Tropis Lembab Ditinjau dari Aspek Fisika Bangunan*, Direktorat Jenderal Pendidikan Tinggi Departemen Pendidikan dan Kebudayaan.
- Spangenberg J., Shinzato P., Johansson E. And Duarte D. (2008), "Simulation of the Influence of Vegetation On Microclimate And Thermal Comfort In The City Of São Paulo", *Rev. SBAU, Piracicaba*, V.3, N.2, 1-19pp
- Satwiko, Prasasto., (2004), *Fisika Bangunan 1 edisi 2*. Yogyakarta : Andi.
- Stewart, Lain., (2009), "Classifying Urban Climate Field Sites by "Local Climate Zones", *International Association for Urban Climate*, ISSUE No.34, hal 8-11.
- Stewart, I.D., Oke, T.R., (2012), "Local Climate Zones for Urban Temperature Studies", *American Meteorological Society*, Vol 92.
- Szokolay, (1987), *Thermal Design of Buildings*, RAI Education Division, Australia.
- Szokolay, (2004), *Introduction to Architecture Science: The Basis of Sustainable Design*, Elsevier, London.

- Taleghani, Mohammad., Kleerekoper, Laura., Tenpierik, Martin., Dobbels, Andy van den., (2015), "Outdoor Thermal Comfort within Five Different Urban Form in the Netherlands", *Building and Environment*, Hal 1-14.
- Tamin, Ofyar, (1997), *Perencanaan dan Permodelan*, Penerbit ITB, MKJI
- Tursilowati, Iaras, (2007), "Urban Heat Island Dan Kontribusinya Pada Perubahan Iklim Dan Hubungannya Dengan Perubahan Lahan", *Prosiding Seminar Nasional Pemanasan Global dan Perubahan Global . Fakta, mitigasi, dan adaptasi*. Pusat. Pemanfaatan Sains Atmosfer dan Iklim LAPAN.
- Voogt, James, (2003), "How Researchers Measure Urban Heat Islands", Canada
- Voogt, J.A., Oke, T.R., (2003), "Thermal remote sensing of urban climates. *Remote Sensing of Environment*, Vol 86, hal. 37-84.
- Wei, Yang., (2014). *Outdoor Thermal Comfort In Urban Space In Singapore. PHD Thesis*. National University Singapore.
- Weng, Q., Liu, H., Lu, D., (2007). "Assessing the effects of land use and land cover patterns on thermal conditions using landscape metrics in city of Indianapolis, United States". *Urban Ecosystems*, Vol 10 (2), hal 203-219.
- Wong, Nyuk Hien., Yu, Chen., (2005), "Study of green areas and urban heat island in a tropical city", *Habitat International*, Vol. 29, Hal. 547-558
- Yeang, K. (2006). *ECODESIGN: A Manual for Ecological Design*, John Wiley & Sons, Ltd.
- Yu, Chen., Hien, Wong Nyuk., (2006), "Thermal benefits of city parks", *Energ. Buildings*, Vol 38, hal. 105-120.
- Yu, Chen., Hien, Wong Nyuk., (2009), "Impact of Strategic Landscaping in Cities: A Review", *Advances In Building Energy Research*, Vol, hal. 237-260.
- Zhao, Caijun., Fu, Guobin Fu., Liu, Xiaoming., Fu, Fan., (2011), "Urban planning indicators, morphology and climate indicators: A case study for a north-south transect of Beijing, China", *Building and Environment*, Vol 46, hal 1174-1183.
- Zhao, Weiqi., Huang, Ganlin., Cadenaso, Mary L., (2011), "Does spatial configuration matter? Understanding the effects of land cover pattern on land surface temperature in urban landscapes", *Landscape and Urban Planning*.
- Undang-Undang No.26 tahun 2007 tentang Penataan Ruang
- Undang-Undang No.26 tahun 2007, pasal 29 ayat 2 tentang Penataan Ruang  
<http://surabayaraya.blogspot.com/2010/06/memperluas-taman-kota.html>.  
dikunjungi tanggal 14 September 2011, jam 03.00WIB.  
<http://oktaviantogustin.blogspot.com/2011/01/uhi-adalah-wilayah-metropolitan-yang.html>

**Halaman ini sengaja dikosongkan**

### LAMPIRAN 3.1

**Format lembar observasi untuk mendukung pencatatan dan perekaman hasil pengukuran di lapangan**

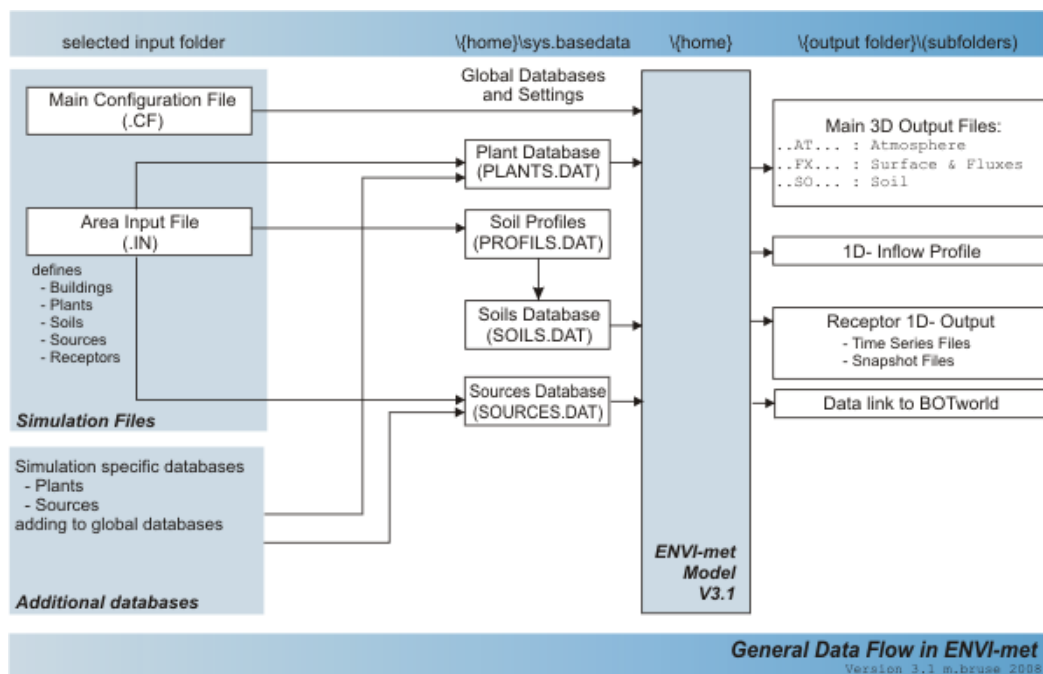
kondisi termal		0:00	1:00	2:00	3:00	4:00	5:00	6:00	7:00	8:00	9:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	18:00	19:00	20:00	21:00	22:00	23:00	
hari Kedua: 3 November 2012																										
radiasi matahari																										
temperatur	panas	29.7	29.1	29	28.1	28	27.8	29.7	31.2	30.1	30.7	34.3	35.1	34.4	32.4	32.2	33.6	32.1	31.5	31.1	30.6	29.8	29.4	29.7	28.7	
	tidak	29.8	39.5	29.3	28.3	28.1	28	29.6	31.8	30	30.6	33	35.5	34.2	32.7	32.3	33.4	32.2	31.6	31.2	30.7	29.6	29.7	29.8	29	
kelembaban	panas	65	68	69	70	71	72	64	55	62	67	39	42	38	43	49	44	48	52	56	53	62	63	62	57	
	tidak	66	68	69	70	71	72	67	54	65	65	6.8	39	40	44	52	46	50	54	58	55	64	63	64	59	
kecepatan angin	min	0.1	0	0	0	0	0.1	0	0.1	0.1	0.1	0.7	0.5	0.6	0.7	0	0.8	0	0.2	1.2	0.2	0	0	0	0.1	
	max	0.3	0.1	0	0.1	0.2	0.4	0.4	0.6	0.4	0.3	1.8	1.6	1.1	1	0.2	1.5	0.1	0.5	0.3	1.8	0.6	0.1	0	0.1	0.4
	aveg	0.2	0	0	0	0	0.1	0.1	0.3	0.3	0.1	0.9	0.8	0.7	0.9	0.1	1.2	0	0.7	1.6	0.3	0	0	0	0	0.1
keadaan awan		cerah	cerah	cerah	cerah	cerah	cerah	cerah	mendur	mendur	cerah	cerah	cerah	ah beraw	mendun	perawar	ah beraw	cerah	cerah	mendun	mendun	mendun	perawar	perawar	perawar	
fre. Kendaraan		R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	



## LAMPIRAN 3.2

### Penggunaan Simulasi ENVI-met V.3.1 dan ENVI-met BioMet V.1

Penggunaan simulasi ini melalui 3 tahap proses, yaitu (Gambar 1) :



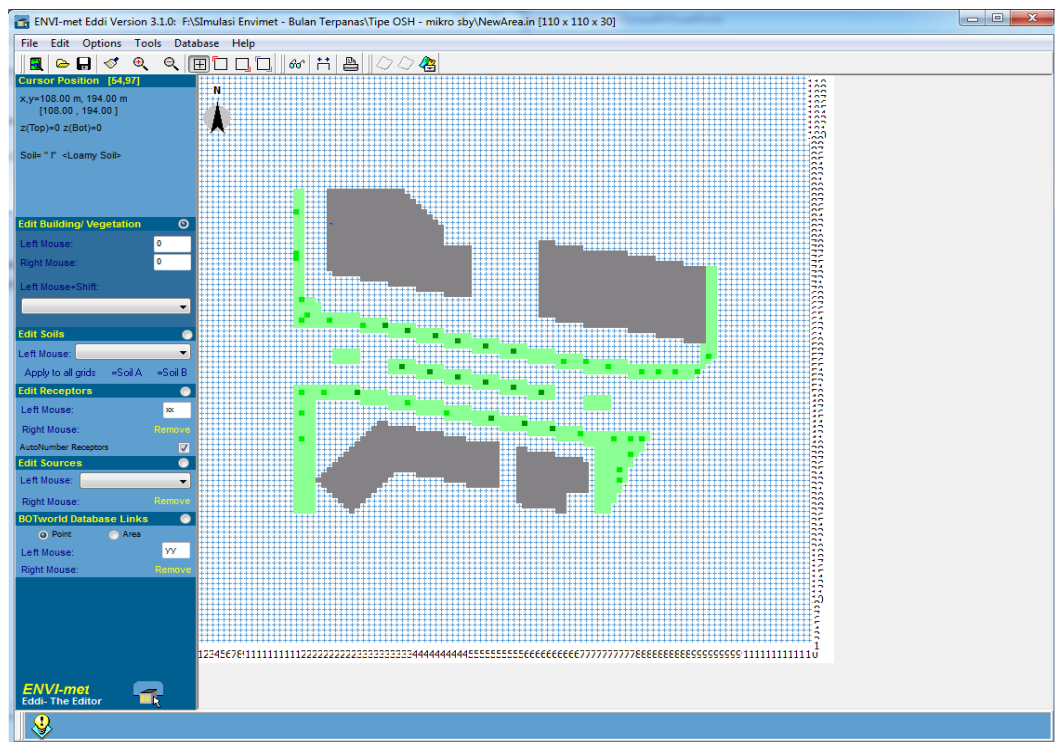
Gambar 1 Skema Alur Kerja Simulasi ENVI-met (Bruse, 2009)

1. Proses pembuatan model simulasi yang dikenal dengan istilah *Area Input files*.

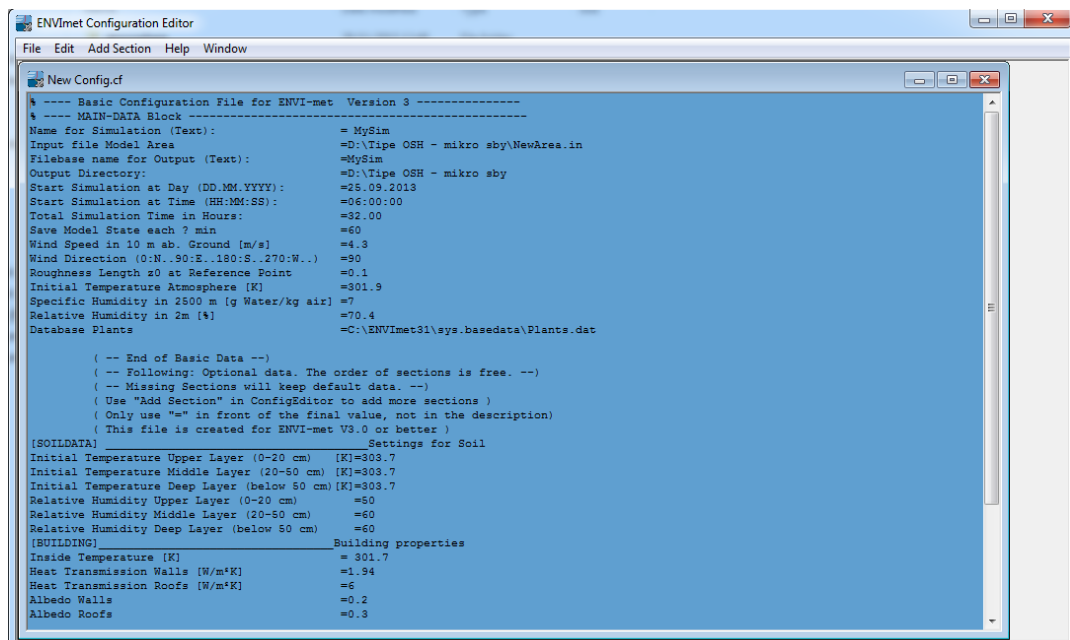
Proses ini menentukan model geometri lingkungan dari masing-masing tipe lansekap, seperti penggunaan bangunan, tanaman dan bahan penutup lahan (paving, aspal, tanah, dll). Adapun file inputnya berupa: posisi dan ketinggian bangunan, posisi tanaman, distribusi bahan permukaan dan jenis tanah, posisi sumber, posisi reseptor dan posisi geografis lokasi (Gambar 2).

2. Proses memasukkan data elemen iklim makro yang dikenal dengan istilah *file Configuration*.

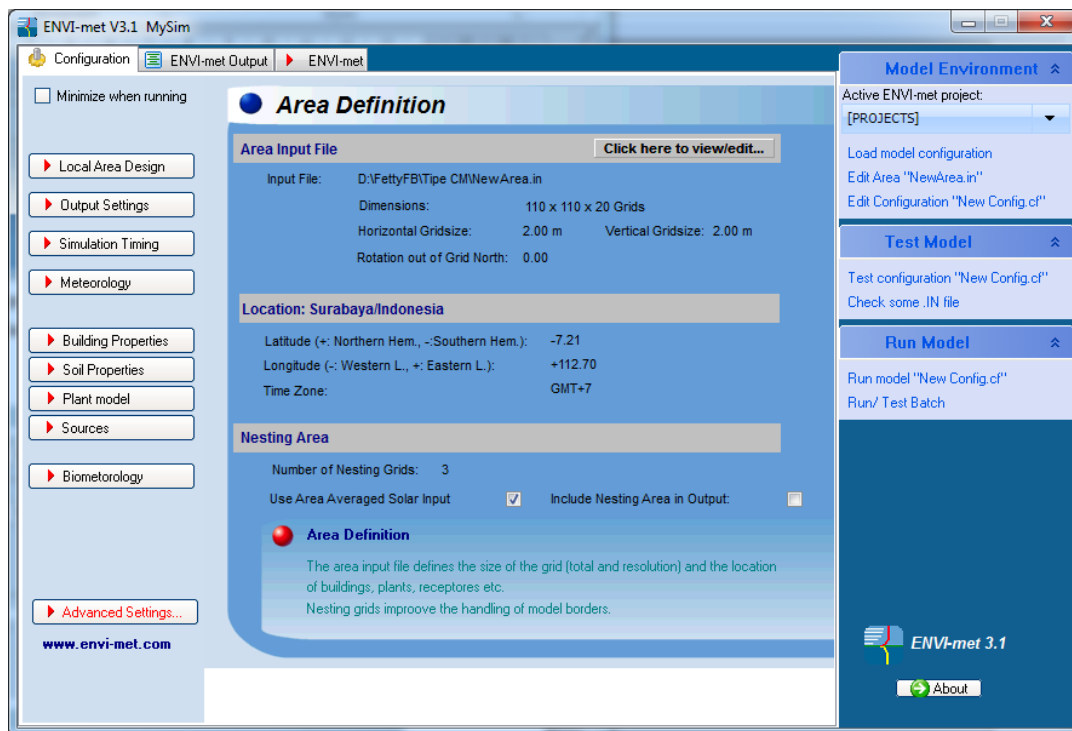
Proses ini merupakan pengiputan data berupa lokasi, output setting (elemen iklim : temperatur, kelembaban udara, kecepatan angin, dll), waktu simulasi, meteorologi, building properties, soil properties, plant model (Gambar 3 dan 4).



Gambar 2 Pembuatan model simulasi (ENVI-met V.3.1, 2015)

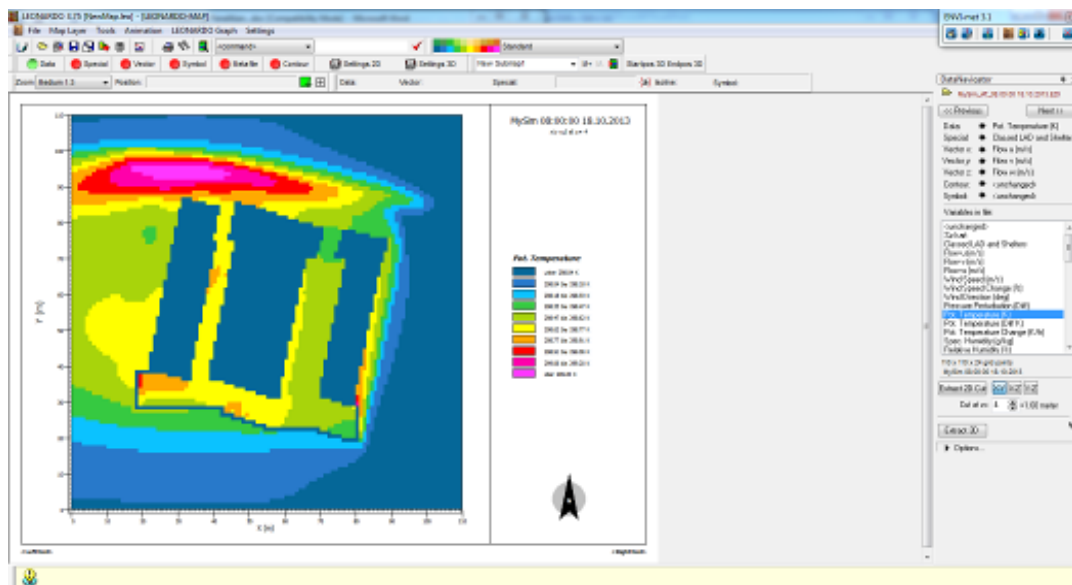


Gambar 3 File Konfigurasi (ENVI-met V.3.1, 2015)



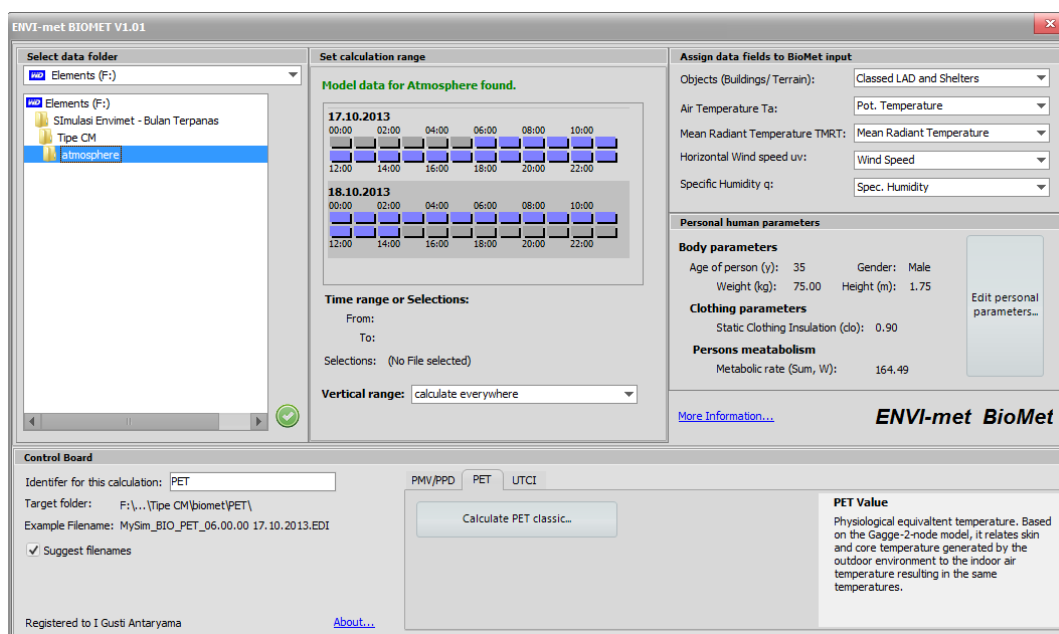
Gambar 4 File Konfigurasi (ENVI-met V.3.1, 2015)

3. Proses data output berupa hasil visualisasi yang merupakan hasil dari proses permodelan. Hasil visualisasi tersebut dengan membuka layar LEONARD 3.75 (Gambar 5).



Gambar 5 Hasil visualisasi LEONARD : Temperatur udara (LEONARD 3.75, 2015)

Hasil visualisasi dari LEONARD ini berupa elemen iklim yang akan dianalisa seperti : temperatur udara, kelembaban udara, kecepatan angin, intensitas radiasi matahari, temperatur radiasi matahari. Selanjutnya proses akhir yaitu berupa indeks termal PET, yang dihitung melalui ENVI-met BioMet V1.01 (Gambar 3.6). Proses ini mempertimbangkan elemen iklim (temperatur udara, temperatur radiasi matahari, kecepatan angin, kelembaban udara) dan parameter manusia (umur, berat badan, jenis kelamin, tinggi, jenis pakaian dan jenis aktivitas).



Gambar 3.6 Perhitungan PET (ENVI-met BioMet V1.01, 2016)

## LAMPIRAN 5.1

**Tabel. Perbedaan Temperatur Udara pada daerah yang terbayangi dan tidak terbayangi di setiap Tipe Lansekap Hasil Pengukuran Lapangan**

Time	OSH	OSM	CM	DL	CL	OSL	EL	OST
0:00	-0,91	0,09	-0,30	1,22	-0,18	0,02	0,48	0,10
1:00	-0,92	0,00	-0,31	1,34	-0,03	-0,03	0,52	0,11
2:00	-0,92	-0,03	-0,46	1,29	-0,01	0,09	0,55	0,11
3:00	-1,00	-0,17	-0,46	1,44	-0,13	0,00	0,47	0,10
4:00	-1,00	-0,15	-0,47	1,54	-0,14	0,15	0,55	0,08
5:00	-1,02	-0,24	-0,39	1,52	-1,16	-0,10	0,42	0,08
6:00	1,87	-0,37	0,31	1,48	0,07	-1,33	2,09	0,05
7:00	5,10	-0,52	0,96	1,22	0,32	2,48	3,18	-0,17
8:00	4,93	0,02	1,67	0,93	0,53	4,39	3,00	-0,36
9:00	4,08	1,58	1,34	1,01	0,99	3,94	2,37	-0,47
10:00	4,43	1,90	0,78	2,48	1,08	4,00	2,47	-0,67
11:00	2,58	2,25	1,50	2,74	2,01	3,58	2,22	-0,07
12:00	1,25	2,73	2,24	2,19	2,15	3,41	2,24	-0,01
13:00	0,89	3,44	2,51	2,30	2,19	3,34	2,48	0,17
14:00	1,07	3,57	0,60	1,97	1,93	1,72	1,83	0,05
15:00	1,30	3,52	-0,62	2,36	2,17	1,26	0,79	-0,11
16:00	0,45	2,46	0,22	2,54	1,57	0,89	0,71	0,10
17:00	0,01	0,48	-0,18	1,79	0,71	0,51	0,71	0,03
18:00	-0,19	0,02	-0,19	1,08	0,10	0,45	0,36	0,09
19:00	-0,25	-0,05	-0,16	0,77	-0,13	0,30	0,46	0,12
20:00	-0,28	-0,23	-0,17	1,01	-0,11	0,24	0,60	0,04
21:00	-0,51	-0,28	-0,21	1,06	-0,14	0,23	0,51	0,05
22:00	-0,55	-0,30	-0,17	1,10	-0,13	0,21	0,50	0,11
23:00	-0,79	-0,21	-0,22	1,14	-0,18	0,12	0,48	0,12

## LAMPIRAN 5.2

**Tabel. Perbedaan Kelembaban Udara pada daerah yang terbayangi dan tidak terbayangi di setiap Tipe Lansekap Hasil Pengukuran Lapangan**

Time	OSH	OSM	CM	DL	CL	OSL	EL	OST
00,00	11,07	-1,63	2,00	-6,51	5,29	-1,00	-12,00	-4,81
01.00	10,97	-1,22	2,11	-7,64	4,61	0,06	-12,58	-5,07
02.00	11,18	-1,20	2,50	-8,07	4,40	-0,28	-12,58	-5,24
03.00	11,50	-0,47	2,56	-8,81	4,76	0,22	-12,50	-5,50
04.00	11,40	-0,62	2,61	-9,67	4,86	0,22	-12,17	-5,72
05.00	11,70	-0,35	2,11	-9,98	5,60	-0,33	-12,58	-5,70
06.00	-0,43	0,55	-1,33	-9,95	6,32	4,39	-15,92	-5,49
07.00	-12,63	0,80	-3,39	-8,50	5,54	-9,89	-19,58	-3,27
08.00	-7,57	-2,08	-4,11	-4,71	2,53	-18,17	-18,33	-1,28
09.00	-6,21	-4,88	-2,61	-3,17	1,01	-9,67	-15,50	-0,99
10.00	-5,46	-5,21	0,00	-5,14	0,71	-6,42	-13,78	-0,97
11.00	-1,55	-4,87	-0,78	-5,30	-0,61	-9,28	-12,83	-1,86
12.00	1,30	-5,17	-2,56	-3,76	-0,76	-7,89	-13,06	-1,96
13.00	2,37	-5,98	-2,28	-3,50	-0,64	-7,94	-12,28	-2,08
14.00	2,15	-5,90	-0,67	-3,13	-0,12	-5,22	-10,22	-2,01
15.00	1,93	-5,87	1,06	-3,89	-0,44	-5,06	-1,88	-18,56
16.00	3,50	-4,58	1,44	-4,64	0,72	-3,94	-2,02	-14,00
17.00	4,25	-0,97	2,22	-3,38	2,20	-2,56	-2,12	-12,67
18.00	5,35	0,05	2,33	-1,18	3,67	-2,44	-3,20	-11,78
19.00	6,02	0,03	1,72	-3,90	4,45	-1,28	-3,91	-11,39
20.00	6,32	0,47	1,61	-5,85	4,41	-1,50	-4,10	-11,92
21.00	7,65	0,30	1,61	-6,34	4,70	-1,22	-4,42	-12,75
22.00	8,25	0,43	1,61	-6,04	4,82	-1,22	-4,57	-12,83
23.00	10,12	0,10	1,94	-5,83	5,26	-1,17	-4,88	-12,00

## LAMPIRAN 6.1

**Tabel. Perbedaan Temperatur Udara antara Hasil Pengukuran Lapangan dan Simulasi**

Waktu	0:00	1:00	2:00	3:00	4:00	5:00	6:00	7:00	8:00	9:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	18:00	19:00	20:00	21:00	22:00	23:00
OSH $\Delta T B$	-0,42	-0,70	-0,81	-0,80	-0,78	-0,69	-0,39	0,41	1,73	3,29	3,81	4,72	4,38	4,64	4,16	3,99	3,52	2,50	1,80	1,58	1,32	0,99	0,54	0,09
$\Delta T TB$	-1,18	-1,46	-1,57	-1,64	-1,46	-1,40	1,79	5,61	6,51	6,96	7,63	6,71	5,23	5,11	4,75	5,13	4,05	2,63	1,75	1,48	1,19	0,63	0,15	-0,39
OSM $\Delta T B$	2,69	2,37	2,13	1,99	1,72	1,59	2,43	4,30	3,75	3,38	3,02	3,15	2,87	1,75	0,83	3,37	4,11	4,64	4,73	4,84	4,61	4,28	3,70	3,29
$\Delta T TB$	2,33	1,92	1,88	1,60	1,36	1,13	1,61	3,62	3,66	4,80	5,12	5,63	5,18	4,94	4,14	6,50	6,16	4,73	4,30	4,36	3,93	3,55	2,95	2,63
OSL $\Delta T B$	4,65	4,28	4,19	3,97	3,81	4,10	7,12	8,05	6,63	5,69	5,19	4,55	3,24	2,83	1,77	2,32	2,44	3,72	4,25	4,68	5,05	5,15	4,94	4,77
$\Delta T TB$	4,26	3,84	3,87	3,56	3,56	3,60	5,39	10,39	10,74	9,36	8,84	7,51	6,05	5,91	3,27	2,90	2,83	3,65	4,32	4,57	4,69	4,77	4,74	4,48
CM $\Delta T B$	4,13	4,06	3,87	3,43	3,13	3,16	4,34	5,45	6,07	5,67	6,88	6,12	5,52	4,64	4,09	5,02	4,01	3,96	4,27	4,13	4,12	4,16	4,13	4,13
$\Delta T TB$	3,83	3,74	3,42	2,97	2,66	2,77	4,64	6,26	7,60	6,83	7,66	7,63	7,46	6,86	4,44	3,75	4,09	3,77	3,87	3,97	3,95	3,95	3,97	3,91
CL $\Delta T B$	4,76	5,09	5,18	5,18	5,33	5,21	4,74	3,86	3,66	3,18	3,35	4,00	3,43	2,86	2,49	4,28	4,80	5,29	5,09	4,65	4,47	4,46	4,48	4,65
$\Delta T TB$	4,43	4,89	5,01	4,88	5,02	3,88	4,81	4,18	3,90	3,86	4,07	5,64	5,18	4,60	3,99	5,90	6,02	5,69	5,04	4,35	4,03	4,15	4,18	4,31
DL $\Delta T B$	4,93	4,56	3,67	3,44	3,36	3,15	2,86	2,44	2,78	3,11	4,03	5,29	5,71	5,85	5,26	6,68	6,82	6,95	6,67	6,46	6,27	6,26	5,71	5,57
$\Delta T TB$	6,15	5,70	4,96	4,87	4,91	4,67	4,35	3,66	3,61	3,88	6,23	7,86	8,13	7,92	7,03	8,36	9,02	8,40	7,37	6,85	6,90	6,74	6,43	6,32
EL $\Delta T B$	3,23	3,35	3,33	3,28	3,46	3,34	4,76	5,49	5,23	4,88	4,92	4,69	4,40	3,43	2,78	4,27	3,35	2,77	3,63	3,94	2,79	3,06	3,32	3,08
$\Delta T TB$	3,70	3,87	3,88	3,75	3,79	3,97	6,63	8,50	8,10	7,13	7,24	6,91	6,65	5,91	4,61	4,92	3,91	3,48	3,99	4,40	3,39	3,57	3,82	3,55
OST $\Delta T B$	4,70	4,40	4,23	4,03	3,85	3,76	3,61	3,57	4,37	3,95	4,36	3,92	4,11	4,54	3,91	4,38	4,36	6,15	6,14	6,02	5,74	5,23	5,16	6,16
$\Delta T TB$	5,24	4,94	4,78	4,56	4,37	4,27	4,08	3,64	3,48	3,25	2,91	2,77	2,92	3,03	2,44	4,09	4,46	6,31	6,51	6,42	6,07	5,58	5,71	5,54

## LAMPIRAN 6.2

### Hasil Statistik MANOVA

#### Kondisi Termal Bulan Terpanas

(a)

Multivariate Tests <sup>a</sup>						
Effect		Value	F	Hypothesis df	Error df	Sig.
Intercept	Pillai's Trace	.999	36090.470 <sup>b</sup>	6.000	163.000	.000
	Wilks' Lambda	.001	36090.470 <sup>b</sup>	6.000	163.000	.000
	Hotelling's Trace	1328.484	36090.470 <sup>b</sup>	6.000	163.000	.000
	Roy's Largest Root	1328.484	36090.470 <sup>b</sup>	6.000	163.000	.000
Lansekap	Pillai's Trace	1.152	5.704	42.000	1008.000	.000
	Wilks' Lambda	.180	8.066	42.000	767.990	.000
	Hotelling's Trace	2.889	11.096	42.000	968.000	.000
	Roy's Largest Root	2.268	54.434 <sup>c</sup>	7.000	168.000	.000

a. Design: Intercept + Lansekap

b. Exact statistic

c. The statistic is an upper bound on F that yields a lower bound on the significance level.

(b)

(b)

Multivariate Tests <sup>a</sup>						
Effect		Value	F	Hypothesis df	Error df	Sig.
Intercept	Pillai's Trace	.999	41277.629 <sup>b</sup>	6.000	155.000	.000
	Wilks' Lambda	.001	41277.629 <sup>b</sup>	6.000	155.000	.000
	Hotelling's Trace	1597.844	41277.629 <sup>b</sup>	6.000	155.000	.000
	Roy's Largest Root	1597.844	41277.629 <sup>b</sup>	6.000	155.000	.000
Bayangan	Pillai's Trace	2.322	6.732	90.000	960.000	.000
	Wilks' Lambda	.002	20.059	90.000	878.272	.000
	Hotelling's Trace	67.762	115.446	90.000	920.000	.000
	Roy's Largest Root	63.804	680.578 <sup>c</sup>	15.000	160.000	.000

a. Design: Intercept + Bayangan

b. Exact statistic

c. The statistic is an upper bound on F that yields a lower bound on the significance level.

Gambar 1. Nilai Signifikan  $\alpha \leq 0,05$  : (a) Lansekap mempengaruhi Kondisi Termal (b) Bayangan mempengaruhi Kondisi Termal



## LAMPIRAN 6.3

Tests of Between-Subjects Effects						
Source	Dependent Variable	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	Y1	11.880 <sup>a</sup>	7	1.697	.176	.990
	Y2	954.793 <sup>b</sup>	7	136.399	1.811	.088
	Y3	63.344 <sup>c</sup>	7	9.049	23.851	.000
	Y4	229382.334 <sup>d</sup>	7	32768.905	.465	.859
	Y5	1231.728 <sup>e</sup>	7	175.961	.786	.600
	Y6	712.617 <sup>f</sup>	7	101.802	1.301	.253
Intercept	Y1	145813.872	1	145813.872	15148.083	.000
	Y2	538601.052	1	538601.052	7152.754	.000
	Y3	596.602	1	596.602	1572.466	.000
	Y4	53113509.220	1	53113509.220	753.344	.000
	Y5	526148.460	1	526148.460	2350.676	.000
	Y6	247902.914	1	247902.914	3168.775	.000
Lansekap	Y1	11.880	7	1.697	.176	.990
	Y2	954.793	7	136.399	1.811	.088
	Y3	63.344	7	9.049	23.851	.000
	Y4	229382.334	7	32768.905	.465	.859
	Y5	1231.728	7	175.961	.786	.600
	Y6	712.617	7	101.802	1.301	.253
Error	Y1	1617.151	168	9.626		
	Y2	12650.369	168	75.300		
	Y3	63.740	168	.379		
	Y4	11844612.609	168	70503.646		
	Y5	37603.196	168	223.829		
	Y6	13143.150	168	78.233		
Total	Y1	147442.903	176			
	Y2	552206.214	176			
	Y3	723.686	176			
	Y4	65187504.163	176			
	Y5	564983.384	176			
	Y6	261758.680	176			
Corrected Total	Y1	1629.031	175			
	Y2	13605.162	175			
	Y3	127.084	175			
	Y4	12073994.942	175			
	Y5	38834.924	175			
	Y6	13855.766	175			

a. R Squared = ,007 (Adjusted R Squared = -,034)

b. R Squared = ,070 (Adjusted R Squared = ,031)

Gambar 2. Nilai Signifikan  $\alpha \leq 0,05$  : Kondisi Termal yang dipengaruhi oleh Lansekap pada Bulan Terpanas Secara Spasial

## LAMPIRAN 6.4

Tests of Between-Subjects Effects						
Source	Dependent Variable	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	Y1	11.880 <sup>a</sup>	7	1.697	.176	.990
	Y2	954.793 <sup>b</sup>	7	136.399	1.811	.088
	Y3	63.344 <sup>c</sup>	7	9.049	23.851	.000
	Y4	229382.334 <sup>d</sup>	7	32768.905	.465	.859
	Y5	1231.728 <sup>e</sup>	7	175.961	.786	.600
	Y6	712.617 <sup>f</sup>	7	101.802	1.301	.253
Intercept	Y1	145813.872	1	145813.872	15148.083	.000
	Y2	538601.052	1	538601.052	7152.754	.000
	Y3	596.602	1	596.602	1572.466	.000
	Y4	53113509.220	1	53113509.220	753.344	.000
	Y5	526148.460	1	526148.460	2350.676	.000
	Y6	247902.914	1	247902.914	3168.775	.000
Lansekap	Y1	11.880	7	1.697	.176	.990
	Y2	954.793	7	136.399	1.811	.088
	Y3	63.344	7	9.049	23.851	.000
	Y4	229382.334	7	32768.905	.465	.859
	Y5	1231.728	7	175.961	.786	.600
	Y6	712.617	7	101.802	1.301	.253
Error	Y1	1617.151	168	9.626		
	Y2	12650.369	168	75.300		
	Y3	63.740	168	.379		
	Y4	11844612.609	168	70503.646		
	Y5	37603.196	168	223.829		
	Y6	13143.150	168	78.233		
Total	Y1	147442.903	176			
	Y2	552206.214	176			
	Y3	723.686	176			
	Y4	65187504.163	176			
	Y5	564983.384	176			
	Y6	261758.680	176			
Corrected Total	Y1	1629.031	175			
	Y2	13605.162	175			
	Y3	127.084	175			
	Y4	12073994.942	175			
	Y5	38834.924	175			
	Y6	13855.766	175			

a. R Squared = ,007 (Adjusted R Squared = -,034)

b. R Squared = ,070 (Adjusted R Squared = ,031)

Gambar 3. Nilai Signifikan  $\alpha \leq 0,05$  : Kondisi Termal yang dipengaruhi oleh Lansekap dan Bayangan pada Bulan Terpanas Secara Keseluruhan pada Bulan Terpanas

## LAMPIRAN 6.5

### Kondisi Termal Bulan Terdingin

(a)

Multivariate Tests <sup>a</sup>						
Effect		Value	F	Hypothesis df	Error df	Sig.
Intercept	Pillai's Trace	1.000	64253.501 <sup>b</sup>	6.000	147.000	.000
	Wilks' Lambda	.000	64253.501 <sup>b</sup>	6.000	147.000	.000
	Hotelling's Trace	2622.592	64253.501 <sup>b</sup>	6.000	147.000	.000
	Roy's Largest Root	2622.592	64253.501 <sup>b</sup>	6.000	147.000	.000
Lansekap	Pillai's Trace	1.600	7.898	42.000	912.000	.000
	Wilks' Lambda	.107	10.087	42.000	692.943	.000
	Hotelling's Trace	3.379	11.693	42.000	872.000	.000
	Roy's Largest Root	1.838	39.901 <sup>c</sup>	7.000	152.000	.000

a. Design: Intercept + Lansekap

b. Exact statistic

c. The statistic is an upper bound on F that yields a lower bound on the significance level.

(b)

(b)

Multivariate Tests <sup>a</sup>						
Effect		Value	F	Hypothesis df	Error df	Sig.
Intercept	Pillai's Trace	1.000	155344.967 <sup>b</sup>	6.000	139.000	.000
	Wilks' Lambda	.000	155344.967 <sup>b</sup>	6.000	139.000	.000
	Hotelling's Trace	6705.538	155344.967 <sup>b</sup>	6.000	139.000	.000
	Roy's Largest Root	6705.538	155344.967 <sup>b</sup>	6.000	139.000	.000
Bayangan	Pillai's Trace	3.082	10.141	90.000	864.000	.000
	Wilks' Lambda	.000	35.432	90.000	788.294	.000
	Hotelling's Trace	225.269	343.744	90.000	824.000	.000
	Roy's Largest Root	215.647	2070.208 <sup>c</sup>	15.000	144.000	.000

a. Design: Intercept + Bayangan

b. Exact statistic

c. The statistic is an upper bound on F that yields a lower bound on the significance level.

Gambar 4. Nilai Signifikan  $\alpha \leq 0,05$  : (a) Lansekap mempengaruhi Kondisi Termal (b) Bayangan mempengaruhi Kondisi Termal

## LAMPIRAN 6.6

Tests of Between-Subjects Effects						
Source	Dependent Variable	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	Y1	16.200 <sup>a</sup>	15	1.080	.107	1.000
	Y2	1017.919 <sup>b</sup>	15	67.861	.863	.607
	Y3	122.286 <sup>c</sup>	15	8.152	271.847	.000
	Y4	6358898.465 <sup>d</sup>	15	423926.564	11.868	.000
	Y5	16617.848 <sup>e</sup>	15	1107.857	7.978	.000
	Y6	6297.551 <sup>f</sup>	15	419.837	8.888	.000
Intercept	Y1	145813.872	1	145813.872	14465.385	.000
	Y2	538601.052	1	538601.052	6846.310	.000
	Y3	596.602	1	596.602	19894.113	.000
	Y4	53113509.220	1	53113509.220	1486.967	.000
	Y5	526148.460	1	526148.460	3789.146	.000
	Y6	247902.914	1	247902.914	5247.862	.000
Bayangan	Y1	16.200	15	1.080	.107	1.000
	Y2	1017.919	15	67.861	.863	.607
	Y3	122.286	15	8.152	271.847	.000
	Y4	6358898.465	15	423926.564	11.868	.000
	Y5	16617.848	15	1107.857	7.978	.000
	Y6	6297.551	15	419.837	8.888	.000
Error	Y1	1612.831	160	10.080		
	Y2	12587.243	160	78.670		
	Y3	4.798	160	.030		
	Y4	5715096.477	160	35719.353		
	Y5	22217.076	160	138.857		
	Y6	7558.215	160	47.239		
Total	Y1	147442.903	176			
	Y2	552206.214	176			
	Y3	723.686	176			
	Y4	65187504.163	176			
	Y5	564983.384	176			
	Y6	261758.680	176			
Corrected Total	Y1	1629.031	175			
	Y2	13605.162	175			
	Y3	127.084	175			
	Y4	12073994.942	175			
	Y5	38834.924	175			
	Y6	13855.766	175			

a. R Squared = ,010 (Adjusted R Squared = -,083)

b. R Squared = ,075 (Adjusted R Squared = -,012)

Gambar 5. Nilai Signifikan  $\alpha \leq 0,05$  : Kondisi Termal yang dipengaruhi oleh Lansekap dan Bayangan pada Bulan Terpanas Secara Keseluruhan pada Bulan Terdingin

**Halaman ini sengaja dikosongkan**